

# European Spallation Source ur ett riskperspektiv

*Mattias Jönsson & Johan Rönmark*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Report 5202, Lund 2006



**European Spallation Source  
ur ett riskperspektiv**

**Mattias Jönsson & Johan Rönmark**

**Lund 2006**

**Titel/Title**

European Spallation Source ur ett riskperspektiv

**Författare/Authors**

Mattias Jönsson & Johan Rönmark

**Report 5202**

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB-5202-SE

Antal sidor/Number of pages: 57

**Keywords**

ESS, spallation source, Lund, mercury, hydrogen, risk

**Sökord**

ESS, spallationsanläggning, Lund, kvicksilver, vätgas, risk

**Abstract**

The aim of this report is to evaluate the safety impact on the public from the construction of a neutron spallation source (ESS) in Lund, Sweden. ESS is to use the highly flammable hydrogen gas for ion source and cooling agent and mercury for neutron production. The report accounts for the major risks the facility will cause and discusses what actions can be taken to reduce the impact these phenomena have concerning public safety. The purpose is to suggest risk reducing measures if the decision to build is taken. Due to project status there are some uncertainties concerning the facility design. Therefore the report is based on a qualitative analysis and no calculations concerning risks have been performed. Based upon the results, various measures have been suggested, for example the use of an alternative material instead of mercury.

**Language**

Swedish

Författarna svarar för innehållet i rapporten.

The authors are responsible for the contents of this report.

© Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2006.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Förord

Denna rapport är framtagen inom ramen för kursen Brandtekniskt projektarbete (VBR 131). Kursen omfattar 10 högskolepoäng och ges av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola. Kursen ska ge studenterna möjlighet att tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under utbildningen samt att självständigt kunna analysera och redovisa en omfattande uppgift på ett vetenskapligt metodiskt sätt. Projektarbetet avslutar författarnas utbildning till brandingenjör.

Många personer har varit involverade i denna rapports färdigställande. Ett särskilt tack riktas till Lunds kommun och all personal vi varit i kontakt med där. Vidare vill författarna tacka nedanstående personer för deras insatser:

- Vår handledare från LTH, tekn. dr. Anne Dederichs, för stort engagemang, värdefull hjälp samt goda råd.
- Hanna Olsson och Hedda Lundqvist för korrekturläsning och stöd på vägen.
- Alla andra som på något sätt har varit till hjälp vid arbetet.

Lund, april 2006

*Mattias Jönsson & Johan Rönmark*

## Sammanfattning

1992 började utredningen och designen av ESS (European Spallation Source), en anläggning för neutronframställning och -forskning, i Europa. I slutet på 1990-talet började USA och Japan att bygga sina respektive anläggningar, men den i Europa planerades få högre kapacitet än någon av dessa. Processen utmynnade i att ett flertal städer kandiderade för en placering av anläggningen. I mitten av 2004 påbörjades en utredning av Allan Larsson i syfte att undersöka Sveriges möjligheter till ett värdskap. Den avslutades cirka ett år senare med slutsatsen att förordna en placering av ESS i Sverige med tänkt placering till ett område nordöst om Lund. I nuläget är det inte bestämt i vilket land anläggningen ska placeras, inte heller om Sverige ska erbjuda ett värdskap.

Processen i ESS går ut på att negativt laddade vätejoner träffar ett målmaterial, i dagsläget kvicksilver, och därigenom frigör neutroner. Dessa neutroner bromsas sedan i moderatorer för att användas i forskningssyfte. Det som gör ESS-anläggningen speciell är att den ska hantera två farliga ämnen som tillsammans utgör den största risken för omgivningen: Vätgas respektive kvicksilver. Vätgas är en lukt- och färglös gas som är mycket brandfarlig. Den har också en hög diffunderingsförmåga vilket ställer höga krav på materialet i de system där vätgasen ska hanteras. Kviksilver å sin sida är ett flytande grundämne och ett mycket farligt miljögift. Det bildar lätt föreningar med andra ämnen, till exempel metylkvicksilver som är den mest giftiga formen av kvicksilverföreningar.

Effekten på ESS kommer att vara högre än både existerande och planerade spallationskällor, detta medför höga krav på de så kallade målmaterialen. Kviksilver har förordats bland annat tack vare sin flytande form i rumstemperatur men andra alternativ har diskuterats, till exempel volfram och bly/vismut. Dessa alternativ har framhållits mer efter det att ett flertal remissinstanser har fått lämna sina synpunkter kring en placering av ESS i Sverige.

Under drift kommer ESS-anläggningen att alstra joniserande strålning som inte bara kommer att påverka de som arbetar på anläggningen utan även omgivningen. Dessutom kommer radioaktiva isotoper att bildas av målmaterialen. Anläggningen projekteras för att klara de gränsvärden för dosbidrag som finns uppsatta idag men dessa ska, enligt ett miljö-kvalitetsmål från regeringen, senast 2010 minskas till 1/100 av nuvarande nivå. Med nuvarande utformning kommer anläggningen inte att klara dessa gränsvärden.

Vätgas kommer att användas för två syften i anläggningen: Dels för protonframställning och dels i moderatorerna som saktar ned de framställda neutronerna. Dessutom kommer flytande helium att användas för kylning av vätgasen. Eftersom båda gaserna kommer att befinna sig i flytande tillstånd vid höga tryck och/eller låga temperaturer krävs säkerhetsåtgärder för att minimera risken för en olycka.

ESS är en unik anläggning för Sverige men kan inte jämföras med en kärnreaktor. Det är däremot högst tänkbart att den klassas som en anläggning som innehåller farlig verksamhet enligt §2:4 i Lagen om skydd mot olyckor. Ett stort ansvar för anläggningens säkerhet läggs där över på ägaren eller verksamhetsutövaren. I den händelse att en olycka trots allt inträffar krävs att räddningstjänsten är förberedd på de speciella risker som en insats på ESS innebär med hjälp av insatsplanering och övning.

Fyra anläggningsspecifika olyckstyper har tagits fram och diskuteras i denna rapport. Dessa är olycka vid transport av farligt gods, kvicksilverläckage, vätgasexplosion/brand samt vätgasexplosion/brand med följdkonsekvensen kvicksilverläckage. Dessa olycksscenarioer kan ligga som grund för vidare riskanalyser.

Utifrån det arbete som har utförts har de aspekter som har stor betydelse för anläggningens säkerhet identifierats. Förslagen till åtgärder behandlar bland annat substituering av vätgas och kvicksilver.

## Summary

In 1992 an investigation and design process regarding the ESS (European Spallation Source), a facility for neutron research in Europe, started. At the end of the 20<sup>th</sup> century the USA and Japan began the construction of their facilities, but the ESS is to be more powerful than both of them. The European process ended in several cities offering to host the ESS, one of them was Lund, Sweden. An investigation began in 2004 in purpose to investigate Sweden's possibilities for hosting ESS. It ended about a year later with the conclusion to recommend a localization of the ESS in Sweden. At the present no decision has been made concerning the location of the ESS.

The function of ESS is that hydrogen ions hit a target material, at the present mercury, and thereof releases neutrons. These high-speed neutrons pass through a moderator and are thereby slowed down. What makes the ESS facility unique is the use of two dangerous substances: Hydrogen, a high flammable, odourless and colourless gas and mercury, a liquid element and one of the worst environment pollutants.

The power of the ESS is to be higher than both existing and planned spallation sources. This causes high demands on the target materials. Among other things mercury has been recommended due to among other things its liquid state at room temperature but alternatives have been discussed, for example tungsten and lead/bismuth. Several institutes have given their opinion for placing the ESS in Sweden and after that focus has turned to alternative target materials.

During operation the ESS will generate atomic radiation. This will affect not only the employees and researchers at the facility but also the surroundings. In addition, the target material will form radioactive isotopes. Today, the facility is designed to manage the limits for exposure to atomic radiation but, according to an environment quality goal from the Swedish government, these limits will by 2010 decrease to one per cent of the present.

Hydrogen has two fields of application at the ESS: To produce protons and for the moderators, to slow down the neutrons. Liquid helium will also be used for cooling the hydrogen. Because both gases will be in liquid state at high pressures and/or low temperatures, safety measures have to be taken to prevent accidents.

The ESS is a unique facility but can not be compared to a nuclear reactor. However, it is possible that it will be classified as a facility with hazardous activity according to the Civil Protection Act (2003:778). The major responsibility for the safety of the facility is, according to this act, put on the owner or usufructuarer. But it is also necessary for the local fire and rescue service to be prepared for the special risks that comes with an accident at the ESS.



Four types of facility-specific accidents have been identified. These are traffic accident with hazardous material, mercury leakage, hydrogen explosion/fire and hydrogen explosion/fire with mercury leakage as a consequence. These four accident types can be used as a bed for further risk analyses.

Based on the work the most important aspects concerning the safety of the ESS facility have been identified. Proposed safety measures include, among others, substitution of hydrogen and mercury.

## Nomenklatur

**ALARP:** As Low As Reasonably Possible, område där risker kan accepteras om alla riskreducerande åtgärder har vidtagits.

**Antändningsenergi:** Den minsta energi som krävs för att starta en förbränning av ett ämne.

**Deskriptiv:** Beskrivande, motsats till analytisk eller värderande.

**FTA:** Felträdsanalys

**HHV:** Engelsk förkortning för högre värmevärde (motsats till LHV, lägre värmevärde). Det högre värmevärdet är den totala mängden energi i ett bränsle.

**HTA:** Händelseträdsanalys

**Inert:** Kemisk beteckning för ett reaktionströgt ämne, ofta använt om brandsläckande/-hämmande gaser.

**Isotoper:** Atomer med samma atomnummer (protonantal) men olika antal neutroner.

**Joule (J):** SI-enhet för energi i alla former.

**Klor-alkaliindustri:** Företag som framställer klor och alkalier (ofta natriumhydroxid).

**Kvalitativ:** Något som avser faktiska egenskaper, till exempel baserade på bedömningar.

**Kvantitativ:** Används för matematiskt mätbara och jämförbara egenskaper.

**Linjeaccelerator:** Maskin för acceleration av laddade partiklar.

**Seveso II-direktivet:** EU-direktiv från 1996 som den svenska lagstiftningen om allvarliga kemikalieolyckor bygger på. Föregicks av Seveso I-direktivet.

**SFS:** Svensk Författningssamling, officiell serie där lagar och författningar publiceras.

**Sievert (Sv):** SI-enhet för dosekvivalent inom området radiologi.

**Spallation:** Process där atomkärnor splittras vid kollision med energirika partiklar.

**SRVFS:** Räddningsverkets författningssamling.

**Supraledande:** Ett elektromagnetiskt fenomen hos vissa material vid extremt låga temperaturer. Innebär bland annat en oändligt stor elektrisk ledningsförmåga.

**SÄIFS:** Sprängämnesinspektionens, SÄI, författningssamling. (SÄI är numera en del av Räddningsverket)

**TNT:** Trinitrotoluen, även kallat trotyl. Vanligt förekommande sprängämne.

**Volymprocent:** Mått som syftar på antalet volymenheter löst ämne per hundra volymenheter av lösningen (jämför viktprocent).

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>13</b>
1.1	<i>Bakgrund</i> .....	13
1.1.1	Neutronforskning .....	13
1.1.2	European Spallation Source .....	13
1.1.3	ESS-utvecklingen i Sverige.....	14
1.1.4	Nuläget.....	15
1.2	<i>Syfte och målsättning</i> .....	16
1.3	<i>Målgrupp</i> .....	16
1.4	<i>Metod</i> .....	16
1.4.1	Genomförande.....	16
1.5	<i>Avgränsningar</i> .....	17
1.6	<i>Disposition</i> .....	17
<b>2</b>	<b>Anläggningen</b> .....	<b>18</b>
2.1	<i>Projektets tidsplan</i> .....	19
2.2	<i>Ekonomi och personal</i> .....	19
<b>3</b>	<b>Lagstiftning</b> .....	<b>20</b>
3.1	<i>Brand och explosion</i> .....	20
3.2	<i>Miljö</i> .....	20
3.3	<i>Strålning</i> .....	21
3.4	<i>Sevesolagstiftning</i> .....	21
3.5	<i>Övrig relevant lagstiftning</i> .....	21
<b>4</b>	<b>Risker och riskhantering</b> .....	<b>22</b>
4.1	<i>Riskvärdering och riskuppfattning</i> .....	24
4.2	<i>Riskkaraktärisering för kemikalier</i> .....	24
4.3	<i>Metoder för reducering av risker</i> .....	25
4.3.1	Inherent safety .....	25
4.3.2	Säkerhetsprincipen på svenska kärnkraftverk.....	25
4.3.3	Tillämpningar på ESS .....	26
<b>5</b>	<b>Vätgas</b> .....	<b>27</b>
5.1	<i>Hantering och framställning</i> .....	27
5.2	<i>Brandfarlighet</i> .....	28
5.3	<i>Vätgas inom anläggningen</i> .....	28
5.3.1	Jonkällor .....	28
5.3.2	Moderatorer.....	29
<b>6</b>	<b>Kvicksilver</b> .....	<b>33</b>
6.1	<i>Förekomst, produktion och utsläpp i Sverige</i> .....	33
6.2	<i>Påverkan på organismer</i> .....	34
6.3	<i>Förvar av kvicksilveravfall</i> .....	35

6.4	<i>Målmaterial</i> .....	35
6.4.1	Alternativa material.....	37
<b>7</b>	<b>Strålning</b> .....	<b>38</b>
7.1	<i>Alfastrålning</i> .....	38
7.2	<i>Betastrålning</i> .....	38
7.3	<i>Gammastrålning</i> .....	38
7.4	<i>Strålningsdoser till allmänheten</i> .....	38
7.4.1	Europa.....	39
7.4.2	Sverige .....	39
7.5	<i>Strålningskydd vid acceleratoren och målstationerna</i> .....	40
7.5.1	Acceleratoren.....	40
7.5.2	Målstationerna.....	41
<b>8</b>	<b>Anläggningens placering och utbredning</b> .....	<b>42</b>
8.1	<i>Översiktsplan</i> .....	42
8.2	<i>Utbredning</i> .....	43
8.3	<i>Riskavstånd</i> .....	44
<b>9</b>	<b>Kommunen och ESS</b> .....	<b>45</b>
9.1	<i>Anläggningen som riskobjekt</i> .....	45
9.2	<i>Ansvarsområden</i> .....	46
<b>10</b>	<b>Olycksscenarier</b> .....	<b>47</b>
10.1	<i>Transporter</i> .....	47
10.2	<i>Kvicksilverläckage</i> .....	47
10.3	<i>Vätgasexplosion/brand</i> .....	48
10.4	<i>Vätgasexplosion/brand som leder till kvicksilverläckage</i> .....	49
<b>11</b>	<b>Diskussion kring metod och genomförande</b> .....	<b>50</b>
<b>12</b>	<b>Slutsatser</b> .....	<b>51</b>
12.1	<i>Förslag till åtgärder</i> .....	52
<b>13</b>	<b>Referenslista</b> .....	<b>54</b>

# 1 Inledning

Lund är en av kandidatstäderna för placeringen av ESS (European Spallation Source), en neutronforskningsanläggning som planeras bli den kraftfullaste i världen. Anläggningen ska göra Europa ledande inom flertalet forskningsområden. Samtidigt kommer anläggningen att medföra vissa risker för den omgivning den placeras i. Denna rapport undersöker riskerna som placeringen av en neutronforskningsanläggning i Lund skulle innebära samt ger förslag på riskreducerande åtgärder. Arbetet är utfört på uppdrag av Lunds kommun efter en förfrågan till Lunds universitet.

## 1.1 Bakgrund

För att ge en bild av vad ESS är följer i detta kapitel en kort beskrivning av neutronforskning samt projektets historia i Europa och Sverige.

### 1.1.1 Neutronforskning

En atom är uppbyggd kring tre partiklar: protonen (positivt laddad), elektronen (negativt laddad) och neutronen (ingen laddning). Användningsområdet för neutroner är huvudsakligen inom kärnkraften men de kan också användas för forskningsändamål, bland annat för att undersöka ett materials atomära eller molekylära egenskaper på en mycket detaljerad nivå. När neutronerna kolliderar med ett material sprids de och genom att studera spridningen kan atomernas läge, rörelse och vibration bestämmas. Denna information kan i sin tur användas för att förklara ett materials uppförande och ger även information om hur materialet kan modifieras så att det får nya egenskaper eller ge förutsättningar för utveckling av helt nya material (The ESS Council, 2002a).

Neutronforskning är användbart inom många områden, exempelvis biologi, kemi och fysik. Exempel på konkreta tillämpningar är holografiska laserdiskar, utveckling av mediciner, utveckling av vätgas som ett säkert bränsle, nya höghållfasta material och så kallade nanomaterial (ESS Project: Foundation for the next European Spallation Source, 2003).

### 1.1.2 European Spallation Source

1992 började utredningen och designen av en spallationsanläggning för neutronframställning och -forskning i Europa. Det fortsatte med en forsknings- och utvecklingsfas där de tekniska utmaningarna skulle undersökas. Denna fas pågick till slutet av 1990-talet. 1999 rekommenderade OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) att spallationsanläggningar skulle byggas i regionerna Nordamerika, Östasien och Europa. Parallellt med detta började byggandet av anläggningarna i USA (Spallation Neutron Source, SNS) och Japan (Japan Proton Accelerator Research Complex, J-PARC).

Under 2002 ägde en konferens rum i Bonn där de kandiderande städerna för en europeisk spallationanläggning (ESS) presenterade sig (ESS Project: Foundation for the next European Spallation Source, 2003). Tidplanen var då att beslutet om placering av anläggningen skulle tas under 2003 eller 2004. Under 2003 fastställdes också den övergripande designen av ESS. I juli 2004 gav den svenska regeringen i uppdrag åt enmansutredaren Allan Larsson att undersöka möjligheterna att placera ESS i Sverige. Resultatet av denna utredning redovisades i juli 2005 där en placering i Sverige förordades. Utredningen tittade på ESS-anläggningen med utgångspunkt i forsknings- och samhällsekonomiska aspekter.

Efter denna utredning skickades förslaget på placeringen i Sverige ut på remiss till 84 instanser, bland annat Kemikalieinspektionen och Naturvårdsverket. Dessa svar har varit av både positiv och negativ karaktär. Även flertalet debattinlägg har publicerats i bland annat Sydsvenska Dagbladet (2006) där ESS antingen har förordats eller förkastats.

### 1.1.3 ESS-utvecklingen i Sverige

Nedan följer några hållpunkter och sammanfattningar från Sydsvenska Dagbladets artikelarkiv kring ESS-anläggningen och dess placering i Lund.

#### **5 december 2001**

En ny neutronforskningsanläggning, som kostar 15 miljarder kronor, planeras stå klar 2010 och ge 400 nya jobb. De skånska orterna Svalöv, Lund, Malmö, Ystad och Trelleborg är intresserade av att stå som värdar för anläggningen.

#### **26 februari 2002**

Lund är den lämpligaste orten i Skåne anser styrgruppen för ESS i Skandinavien.

#### **23 mars 2002**

Konsortiet ESS-Scandinavia bildas i Köpenhamn. Målet för konsortiet är att ESS placeras i Lund.

#### **16 maj 2002**

ESS-konferens i Bonn där de dåvarande kandidatstäderna Lund, Jülich, Leipzig, Oxford och Yorkshire presenterade sig. Beslut om anläggningens placering ska enligt nuvarande planer fattas 2003 eller 2004.

#### **13 augusti 2002**

Miljöpartiet kräver folkomröstning (namnunderskrifter av minst 5 % av invånarna i Lund krävs) om ESS. Byggstart 2004 och färdig 2010 enligt dåvarande tidplan.

#### **7 februari 2003**

Forsknings- och utbildningsministern i Tyskland rekommenderar, på grund av kostnaderna för ESS, sin regering att landet ska ställa sig utanför projektet.

#### **25 november 2003**

Naturskyddsföreningen i Skåne kritiserar bygget av ESS-anläggningen i ett brev till regeringen: om inte anläggningen kan uppföras utan kvicksilver bör den över huvudtaget inte uppföras eftersom användningen av kvicksilver ska fasas ut i Sverige.

#### **24 januari 2004**

Nytt argument för ESS: Skatteintäkter från elförbrukningen överstiger den statliga avgiften för ESS enligt beräkningar.

#### **9 juli 2004**

Regeringen ger uppdrag åt Allan Larsson att undersöka möjligheterna att placera ESS i Sverige. Det huvudsakliga syftet är bland annat att undersöka hur stort stödet är från forskarsamhället och näringslivet samt de långsiktiga tillväxteffekterna. Rapporten ska redovisas 1 juli 2005.

#### **14 oktober 2005**

Kemikalieinspektionen kritiserar förslaget på placering av ESS i Lund på grund av den planerade kvicksilveranvändningen, ett ämne som Sverige sedan länge har arbetat för att begränsa användningen av.

#### **21 oktober 2005**

Länsstyrelsen i Skåne säger ja till placerandet av ESS i Lund. Men man ställer krav på ökad energihushållning och fördjupade studier kring strålning, hantering av kvicksilver och radioaktivt avfall.

#### **1.1.4 Nuläget**

När denna rapport färdigställs i början av 2006 är frågan om i vilket land ESS-anläggningen ska placeras ännu inte utredd och inga beslut är heller tagna. För närvarande förväntas regeringen formulera ett beslut om ett svenskt värdskap. Först därefter kommer beslutet om var anläggningen ska placeras att tas. Byggstarten är enligt den senaste tidplanen beräknad till 2009 (ESS Scandinavia, 2006).

### 1.2 Syfte och målsättning

Utgångspunkten och syftet med denna rapport är undersöka ESS-anläggningen ur ett brett riskperspektiv och identifiera de faktorer som har störst betydelse för säkerheten. Utifrån detta ska sedan förslag till åtgärder tas fram och diskuteras.

Målet med rapporten är att den ska kunna användas i det fortsatta säkerhetsarbetet vid en placering av ESS-anläggningen i Lunds kommun. Vidare ska den ge övergripande fakta om anläggningen och de risker den medför till omgivningen samt underlag för att möta de krav som ställs på Lunds kommun för att anläggningen ska kunna byggas där.

### 1.3 Målgrupp

Rapporten riktar sig i första hand till Lunds kommun och de som kommer att leda eller arbeta med det fortsatta planeringsarbetet med anläggningen. Den vänder sig också till andra som kan vara intresserade av riskbedömningar och säkerhetsarbete vid stora och komplicerade anläggningar. Eftersom planeringen av ESS-anläggningen även är en aktuell samhällsfråga kan rapporten också tänkas vara intressant för berörda privatpersoner, till exempel invånarna i Lunds kommun.

### 1.4 Metod

Det finns två generella metoder för vetenskapliga studier: Det kvalitativa, där man studerar hur människan tolkar och uppfattar omgivningen, och det traditionella (kvantitativa), där man observerar och ”mäter” en given verklighet (Backman, 1998). Utifrån de förutsättningar (med flertalet tekniska rapporter och utredningar men stora osäkerheter kring anläggningens placering) som fanns under hösten 2005 när arbetet startade bedömdes en deskriptiv (insamling av fakta som kategoriseras och sorteras för att sedan visa någonting) kvalitativ metod lämpligast. Ejvegård (2003) menar att den deskriptiva metoden passar bra för verk i översiktsform vilket tidigt bedömdes bli arbetets inriktning. Fördelarna med den deskriptiva metoden är att tidigare slutsatser och antaganden kan bedömas utifrån flera synvinklar. Tidigare förvärvade kunskaper kan också tillämpas och användas kritiskt vilket gagnar den vetenskapliga objektiviteten.

#### 1.4.1 Genomförande

Förutsättningen för den deskriptiva metoden är tillgång till fakta. Därför inleddes arbetet med problemformuleringar och därefter vidtog ett omfattande arbete med informations-sökning. Denna skedde främst genom litteratur- och rapportstudier men även genom muntliga kontakter. Ett antal källor har använts som referensunderlag och denna bredd på materialet har därför bidragit till ett objektiva förhållningssätt till den inhämtade



informationen. Under arbetet med rapporten uppkom ibland nya frågeställningar och informationsökningen blev därför en kontinuerlig process parallellt med författandet.

### *1.5 Avgränsningar*

I detta arbete ligger tyngdpunkten på området säkerhet och utgångspunkten har varit den fakta som fanns tillgänglig i oktober 2005. Därför har inte heller någon hänsyn tagits till eventuella förändringar i projekteringen sedan dess. Rapporten gör heller inget anspråk på att bedöma anläggningens framtida placering.

### *1.6 Disposition*

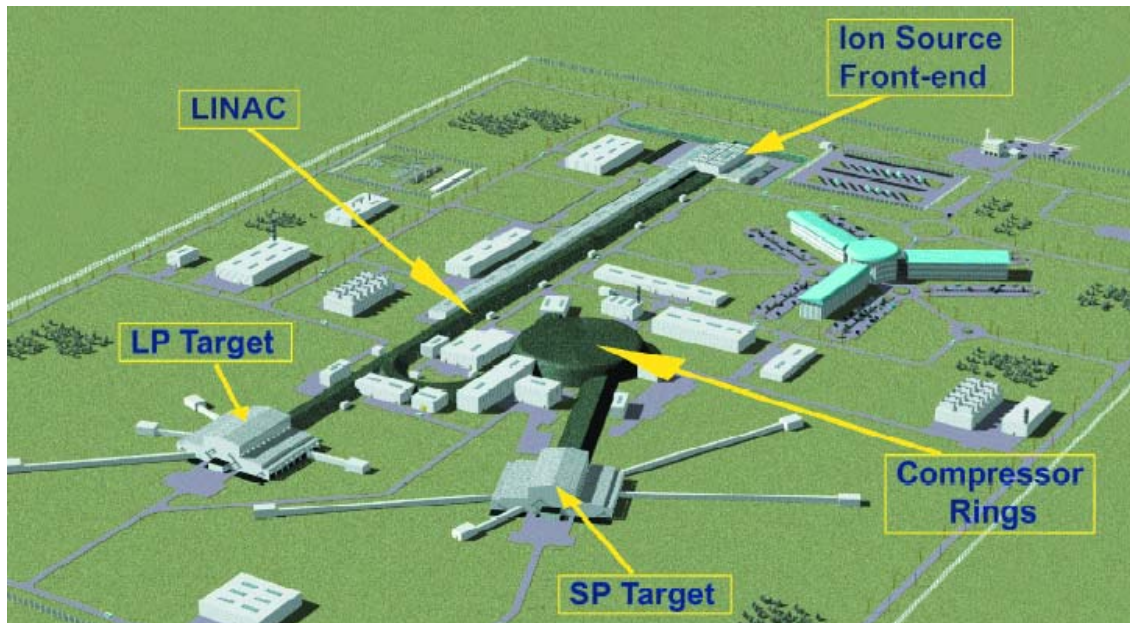
De första kapitlen i rapporten är av mer allmän karaktär och innefattar kort information om anläggningen, aktuell lagstiftning och riskhanteringsprocessen. Sedan följer kapitel om de tre huvudsakliga riskerna som anläggningen medför: vätgas, kvicksilver och strålning. Dessa kapitel börjar med allmän fakta om respektive ämne och går sedan in på anläggnings-specifika företeelser. Följande kapitel handlar om placeringen av anläggningen samt räddningstjänstens ansvar vid en anläggning av detta slag. Sist redovisas tänkbara olycks-scenarier och en diskussion följd av de slutsatser som dragits.

## 2 Anläggningen

Sapallationsprocessen börjar med skapandet av negativt laddade vätejoner i kraftfulla jonkällor (Ion Source Front-end i figur 1). Tack vare deras laddning kan dessa sedan accelereras till 91 % av ljushastigheten i linjeacceleratorn (LINAC). Jonerna kan sedan i form av korta pulser skickas rakt mot långpulsmålet (LP Target) eller böjas av till kompressorringen. I denna skalas elektronerna av så att rena protoner bildas. Dessa samlas sedan ihop för att i en kort puls tömmas mot kortpulsmålet (SP Target). Pulsen som träffar målen har en energi på 5 MW och eftersom båda målen är tänkta att kunna användas samtidigt ger linjeacceleratorn en effekt på 10 MW.

Målstationerna (pulsmålen) är tänkta att bestå av flytande kvicksilver med tillhörande inneslutning. Då jonerna/protonerna träffar kvicksilvret frigörs neutroner som är de elementarpartiklar som används till experimenten. Samtidigt bildas radioaktiva isotoper av pulsmålen (kvicksilver). Till skillnad från en kärnreaktor som bygger på kedjereaktioner, det vill säga när processen startat fortgår den av sig själv, så avstannar spallationen i mål-materialet så fort protonstrålen stängs av och därmed finns ingen risk för okontrollerade kedjereaktioner.

Neutronerna saktas sedan ned av så kallade moderatorer som består av flytande väte och skickas därefter vidare till experimentutrustningen där de träffar provet (materialet) som ska undersökas. Varje mål är tänkt att försörja drygt 20 forskningsinstrument samtidigt (The ESS Council, 2002a).



Figur 1 - Schematisk bild över hur anläggningen kan se ut (The ESS Council, 2002a).

## 2.1 Projektets tidsplan

Eftersom det inte är fastställt var anläggningen kommer att placeras finns ännu ingen tidsplan med preciserade tidpunkter för genomförande av projektets olika delar. Det finns däremot en tidslinje över hur anläggningens livstid kommer att se ut, se tabell nedan.

... – År -2	År -2 – År -1	År 1 – År 8	År 9 – År 17	År 18 – År 49	År 50 – ...
Överens- kommelse om anläggningens placering och utformning.	Planerings- och utveck- lingsfas.	Konstruktion av anläggningen.	Anläggningen börjar producera neutroner. Mätinstrumenten byggs ut till full kapacitet.	Anläggningen i full drift.	Avveckling av anläggningen, omhänder- tagande av avfall m.m.

Tabell 1 - Tidslinje för ESS-projektet. Utgångspunkten (skuggat område) är klartecken för konstruktion (The ESS Council, 2004).

## 2.2 Ekonomi och personal

Anläggningen beräknas kosta 1,55 miljarder euro (cirka 15 miljarder svenska kronor) att bygga under en åttaårsperiod och driften beräknas kosta 142 miljoner euro (cirka 1,3 miljarder svenska kronor) per år (The ESS facility fact sheet, 2002). Kostnaden för konstruktion och drift ska delas mellan de länder som är intresserade av att vara med i projektet och fördelas i förhållande till respektive lands BNP. Värmlandet ska utöver detta bidra med 10-30 % av kostnaden (ESS Scandinavia, 2006).

Personal på anläggningen beräknas till totalt cirka 650 personer varav cirka 300 forskare, 315 administrativ och teknisk personal samt 50 studenter. Utöver detta skapas en hel del indirekta arbetstillfällen inom bland annat byggsektorn. Antalet gästforskare per år beräknas vara 4000-5000 (The ESS facility fact sheet, 2002).

### 3 Lagstiftning

På grund av den särskilda verksamheten och komplexiteten vid ESS-anläggningen kommer utformningen att styras av ett flertal lagar och förordningar. Nedan följer exempel på dessa, som främst kommer att påverka i projekteringsfasen, men även andra lagar är relevanta ur säkerhetsynpunkt.

De flesta relevanta lagarna är så kallade ramlagar, det vill säga de styr inte hur detaljer ska utformas. De anger istället till exempel att:

*”Byggnader och andra anläggningar där brandfarliga eller explosiva varor hanteras samt anordningar för hantering av sådana varor skall vara inrättade så att de är betryggande från brand- och explosionssynpunkt och förlagda på sådant avstånd ifrån omgivningen som behövs med hänsyn till hanteringen. Detta gäller också områden med sådana byggnader, anläggningar och anordningar.”* (§6, Lag 1988:868 om brandfarliga och explosiva varor).

Lagarna kan därför uppfyllas på många olika sätt men ofta regleras detaljfrågor i föreskrifter och allmänna råd för respektive lag. Det är dock alltid upp till ägaren eller verksamhetsutövaren att visa att de metoder som används för att uppfylla lagen är tillräckliga.

#### 3.1 Brand och explosion

Hanteringen av vätgas vid ESS-anläggningen gör att flera lagar kommer att bli tillämpliga på grund av gasens brandfarlighet och explosivitet. Dessa är bland annat *Lag* (2003:778) samt *förordning* (2003:789) om skydd mot olyckor och *Lag* (1988:868) samt *förordning* (1988:1145) om brandfarliga och explosiva varor. Dessa lagar och förordningar reglerar bland annat hur hanteringen av vätgas ska genomföras samt vilket ansvar som åligger ägaren. Exempelvis kommer en skriftlig redogörelse av brandskyddet att behöva upprättas och riskerna med anläggningen analyseras.

#### 3.2 Miljö

Den lagstiftning som främst styr hur anläggningens miljöpåverkan ska regleras är *Miljöbalken* (1998:808) med tillhörande förordningar. Lagen anger att skyddsåtgärder och andra försiktighetsmått skall vidtas så fort det finns skäl att anta att en verksamhet kan ha skadlig inverkan på hälsa och miljö. Den reglerar även miljökonsekvensbeskrivningar (identifiering och beskrivning av de effekter som en verksamhet kan medföra till sin omgivning, till exempel avseende vatten, luft och klimat) som kommer att krävas vid en placering av ESS i Sverige.

### 3.3 Strålning

Den lag som reglerar verksamhet med strålning är *Strålskyddslagen* (SFS 1988:220). Detta är en ramlag som endast innehåller övergripande regler som kompletteras med mer detaljerade föreskrifter från Statens Strålskyddsinstitut som är ansvarig myndighet. Några av de föreskrifter som kommer vara aktuella i detta fall är *Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om verksamhet med accelerators och slutna strålkällor* (2000:9) samt *Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning* (1998:4). Lagarna innehåller många regler för hur arbete med joniserande strålning ska utföras men det mest relevanta för ESS är de dosgränser för allmänheten som anges. Dessa innebär hur stort stråldosbidrag en anläggning får innebära för människor i omgivningen.

### 3.4 Sevesolagstiftning

Sevesolagstiftningen är i Sverige ett samlingsnamn för *Lag* (1999:381), *Förordningen* (1999:382) samt *Räddningsverkets föreskrift* (SRVFS 1999:5) *om åtgärder för att förebygga och minimera följderna av allvarliga kemikalieolyckor*. Lagstiftningen träder dock i kraft först när vissa mängder av ett farligt ämne hanteras inom en viss verksamhet (inte anläggning). Den mängd kvicksilver som är tänkt att användas understiger den gräns som är uppsatt vilket innebär att ESS inte faller under denna lagstiftning.

### 3.5 Övrig relevant lagstiftning

Flertalet andra lagar kommer att bli tillämpliga på ESS-anläggningen, utöver de som är direkt relaterade till de risker som behandlas i rapporten. Dessa är bland andra *Arbetsmiljölagen* (SFS 1977:1160), *Arbetsmiljöverkets författningssamling* (AFS), *Lag* (1982:821) *om transport av farligt gods* och *Plan- och bygglag* (1987:10) där den sistnämnda är relevant vid planeringsstadiet vad gäller placeringen av anläggningen.

## 4 Risker och riskhantering

Vi omges dagligen av flera riskfaktorer i samhället: trafiken, industrier, luftföroreningar, rökning och matvanor. Att något utgör en risk eller inte brukar därför variera beroende på vem som värderar den. Men oftast är risken en sammanvägning mellan sannolikhet för och konsekvens av en händelse eller effekt. I praktiken kan ordet risk betyda många olika saker men innebörden är ofta självklar beroende på sammanhanget (Grimvall, Jacobsson, & Thedéen, 1998):

- Risk kan stå för en negativ konsekvens som väger tyngre än sannolikheten, till exempel ett kärnreaktorhaveri.
- Risken uttrycks starkast genom sannolikheten för en händelse eftersom konsekvensen av händelsen är ringa (det är stor risk för regn imorgon).
- Risk är den förväntade medelkonsekvensen, det vill säga summan av flera produkter av konsekvens och sannolikhet.

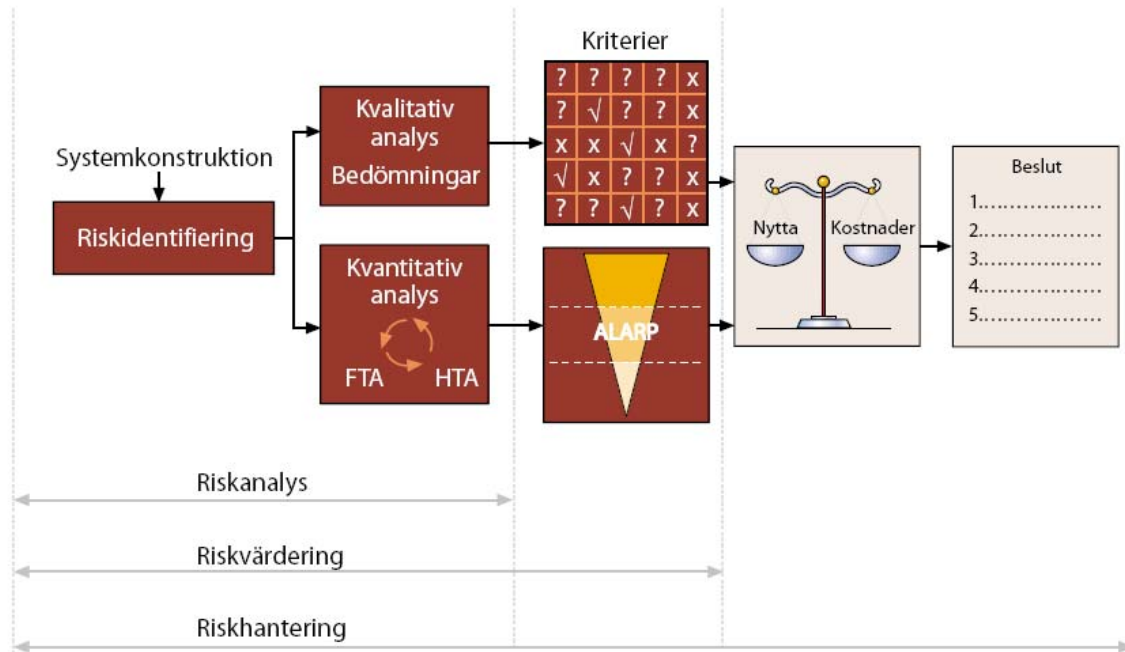
Risk brukar rent matematiskt uttryckas som produkten av konsekvensen och sannolikheten. Risken kan också sägas ge svaret på de tre frågorna nedan (det tekniska perspektivet):

- Vad kan hända (vilka scenarion kan uppstå)?
- Hur troligt är det (sannolikheten)?
- Vilka blir konsekvenserna?

Ofta uttrycks risk i förhållande till någon enhet, till exempel händelse (olycka) per personkilometer eller per tillverkad kWh, och risker är ofta kopplade till något slags beslut, till exempel att reducera antalet trafikolyckor per personkilometer. Då ska också olika riskreducerande åtgärder införas vilket gör att kostnaden för dessa ska bedömas ekonomiskt. Inte sällan är de mest säkerhetshöjande åtgärderna också de dyraste. Lösningen brukar därför bli en avvägning mellan kostnaden och nyttan för de riskreducerande åtgärderna för att hamna på en acceptabel risknivå.

Riskhantering är begreppet för hela arbetet kring risker och hur de ska begränsas. Det är också ett proaktivt förhållningssätt, det vill säga det ska leda till säkerhetshöjande åtgärder innan olyckor har skett (jämför med haveriutredningar som är reaktiva, alltså sker efter olyckor) och består av följande delar:

- Riskidentifiering
- Riskuppskattning
- Riskvärdering
- Beslut om åtgärder och uppföljning



Figur 2 - Schema över riskhanteringsprocessen (Räddningsverket, 2003).

De två första punkterna ovan ingår i vad som kallas en riskanalys, där risker och dess konsekvenser tas fram och analyseras. När denna är genomförd återstår att värdera de risker med tillhörande konsekvenser som identifierats för att sedan vidta riskreducerande åtgärder. Beroende på inom vilket område (exempelvis hälsa, miljö, säkerhet) som riskanalysen genomförs kan tillvägagångssätten skilja sig åt (Grimvall et al, 1998).

Riskanalyser och riskbedömningar kan göras på tre olika sätt: kvalitativt, semi-kvantitativt och kvantitativt. I tabell 2 beskrivs vad de olika metoderna innebär.

Nivå	Typ
Kvalitativ	Beskrivande och graderande (hög, låg etc.). Ofta baserad på bedömningar.
Semi-kvantitativ	Beskrivande och grovt kvantifierad (t. ex. potensgradering som riskmått).
Kvantitativ	Beskrivande och kvantifierad med numeriska sannolikheter och riskmått (risker uttrycks genom matematiska beräkningar)

Tabell 2 - Olika typer av riskanalysmetoder.

#### 4.1 Riskvärdering och riskuppfattning

Risk och beslut är nära kopplat vilket gör att människan antingen accepterar att hon utsätts för en risk eller inte. Om risken inte accepteras så vidtar man åtgärder för att minimera risken. Det centrala är hur risken uppfattas och där finns resonemang som ofta återkommer, till exempel följande enligt Grimvall et al (1998):

- Frivilliga risker föredras framför ofrivilliga (fallsärmshoppning är en frivillig risk).
- Påtagliga risker föredras bättre än svårgripbara (jämför trafikrisker och kärnkraft).
- Risker med ny teknik värderas allvarligare än etablerad, beprövad teknik (förlösa tåg jämfört med traditionella).
- Större nytta ger högre riskacceptans (gruvdrift, förlägga stora trafikleder i tunnlar).
- Små frekventa olyckor föredras framför stora katastrofer (trafikolyckor jämfört med störtande flygplan).

Hur en risk upplevs och värderas är högst subjektivt. Det är till exempel stor skillnad på hur allmänhet respektive experter värderar risken med slutförvaring av högaktivt kärnavfall. Kunskap, eller brist på kunskap, kan därför vara en viktig faktor i riskperceptionen. Men en risk behöver därmed nödvändigtvis inte framkalla känslor som oro eller ångest bara för att den uppfattas som stor (Grimvall et al, 1998). Vem som utsätts för risken har också betydelse; acceptansen för att den närmaste familjen utsätts för en viss risk är lägre än om andra grupper eller samhällen utsätts för samma risk.

Människan har svårt att värdera risker (sannolikheter) andra än 0 %, 100 % och 50-50. Därför är det svårt att motivera beslut till allmänheten med resonemang som till exempel att ”risken att scenariot ska inträffa är 1 på 100 000 år” eftersom det bara är experter som kan tolka och värdera en sådan motivering på ett korrekt sätt. Därför är även frågan om hur riskerna presenteras (den så kallade riskkommunikationen) en viktig faktor att beakta.

#### 4.2 Riskkaraktärisering för kemikalier

När kemikalier skall användas behövs en riskkaraktärisering. Den behövs bland annat för bedömningen av ämnets farlighet samt av en lägsta skyddsnivå och innefattar följande aspekter (Kemikalieinspektionen, 1995):

- Typ/art av potentiella, skadliga effekter, kritiska effekter samt varaktighet och utbredning av exponering.
- Allvarlighet/konsekvens av skador.
- Sannolikhet att specificerade skador ska inträffa.
- Potentiellt eller redan drabbade populationer: känsliga grupper, populationer och miljöer.
- Säkerhet: osäkerhet i riskbedömningen avseende effekter, exponering och risk.
- Antaganden som ingår i riskbedömningen.



### 4.3 Metoder för reducereing av risker

När risker är identifierade och värderade återstår att vidta åtgärder för att reducera dem till en acceptabel nivå. För att exemplifiera detta följer nedan två konkreta exempel.

#### 4.3.1 Inherent safety

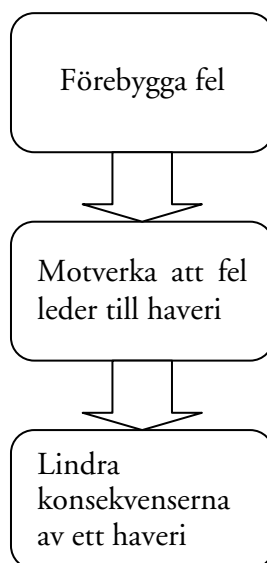
Inom kemikalieindustrin förekommer en riskreducerande metod som kallas inherent safety vilket närmast kan översättas till svenska med ”inneboende” eller ”genuin” säkerhet. Det innebär att betingelserna i processen/hanteringen ska göras så ofarliga som möjligt. Metoden innebär att behovet av avancerade regler-, säkerhets- och kontrollsystem kan minska. Det sker genom användande av en eller flera av följande principer:

- Substituering (byta ut ett farligt ämne mot ett mindre farligt)
- Minimering av mängd (till exempel för explosiva ämnen)
- Mildare betingelser (lägre tryck eller temperatur med mera)
- Robusta egenskaper i övrigt (exempelvis överdimensionerade skyddsbarriärer)

Inherent safety-principerna är främst tillämpbara i designstadiet av processer och anläggningar eftersom det är där de ger störst effekt. Om det redan från början går att designa säkert utan speciella säkerhetssystem ger det stora fördelar både säkerhetsmässigt och ekonomiskt.

#### 4.3.2 Säkerhetsprincipen på svenska kärnkraftverk

Svenska kärnkraftverk arbetar efter en säkerhetsprincip på tre nivåer för att undvika att radioaktivt material okontrollerat släpps ut till omgivningen: förebygga fel, motverka att fel leder till haveri och lindra konsekvenserna av ett haveri (Ringhalsgruppen, 2006).



Figur 3 - Säkerhetsprincipens tre nivåer.

### **Förebygga fel**

Exempel på åtgärder som kan vidtas för att förebygga fel är att se till att konstruktionen är byggd med hög kvalitet och att den är noga kontrollerad, utföra regelbundna kontroller av säkerhetssystem och ha välutbildad personal.

### **Motverka att fel leder till haveri**

Till denna säkerhetsnivå räknas övervaknings- och säkerhetssystem. Dessa system är oftast dubbla eller flerdubbla så att ett reservsystem ska kunna ta över om det första inte fungerar (kallas redundans). Systemen har även olika tekniska lösningar så att inte samma fel ska kunna drabba flera system (diversifiering). Slutligen är systemen utspridda i anläggningen så att en olycka, exempelvis en brand, inte ska kunna slå ut samtliga system (separation).

### **Lindra konsekvenserna av ett haveri**

Denna säkerhetsnivå är tänkt att hålla de radioaktiva ämnena inneslutna även om alla säkerhetssystem slutar fungera och bränslehärden smälter. Detta uppnås genom att reaktorn är innesluten av ett flertal barriärer av stål och betong, exempel på dessa är reaktorinneslutningen och själva reaktorbyggnaden.

### 4.3.3 Tillämpningar på ESS

Grundprincipen för inherent safety är att processen eller processerna ska göras så ofarliga som möjligt. Detta är svårt att genomföra i efterhand när byggprocessen har startat. Eftersom ESS befinner sig i ett mycket tidigt stadium är detta ett tillvägagångssätt som är högst relevant och bör tas i beaktande. Detsamma gäller för säkerhetsprinciperna vid svenska kärnkraftverk: Ju tidigare de kan implementeras i utformningen ju troligare är det att de kommer att genomföras och ge ett faktiskt resultat.

## 5 Vätgas

Väte (kemisk beteckning H) är ett mycket vanligt förekommande ämne i universum, hela 70-80 viktprocent av det observerbara universum består av väte. Väte i gasform, vätgas ( $H_2$ ), är en mycket liten molekyl. Den kan därför lätt diffundera (sprida sig) in i och genom andra material som kan anses vara täta för andra gaser (till exempel gummi). Denna diffundering medför stora risker i hanteringen och ställer stora krav på materialet i de system där vätgasen ska hanteras. Gasen är lukt- och färglös vilket försvårar upptäckt genom de mänskliga sinnen och brinner med en mycket het (flamtemperatur cirka 2000 °C) men i stort sett osynlig flamma i dagsljus.

Energien som alstras vid förbränning av vätgas är cirka 3 gånger större än bensin och cirka 2,5 gånger större än metan. Som kylmedel har det också hög effekt, värmeupptagningsförmågan är cirka 14 gånger större än för luft. Vätgas är extremt brännbart och lättantändligt: brännbarhetsområdet i luft är 4-75 volymprocent. Antändningsenergin är samtidigt endast 0,02 millijoule, vilket innebär att den statistiska elektriciteten från en människa räcker för att antända vätgas (Saxe, 2005; Gårsjö & Niklasson, 2005).

	Förbränningsvärme (MJ/kg)	Brännbarhetsområde (volymprocent, i luft)	Minsta antändningsenergi i luft (mJ)
Vätgas	130,8	4-75	0,02
Naturgas (metan)	50,03	5,3-15	0,29
Bensin	43,0	1,0-7,6	0,24

Tabell 3 - Jämförelse mellan egenskaper hos väte, naturgas och bensin (NFPA, 1995; Saxe, 2005)

Vätgas kan också utsätta andra material för försprödning. Det innebär att vätgasmolekylen reagerar med materialet vilket ökar risken för sprickbildning (Saxe, 2005). Material som kan bilda metalliska hydrider (kemisk förening mellan väte och annat ämne) bör även undvikas eftersom det också kan orsaka försvagning. Då vätgas med höga tryck ska hanteras är så kallat austenitiskt (rostfritt) stål användbart eftersom metallstrukturen är tätare och mängden kol mindre. Därmed blir motståndskraften högre mot vätgasförsprödning (Gårsjö & Niklasson, 2005).

### 5.1 Hantering och framställning

Kombinationen av lättantändlighet och läckagebenägenhet gör hanteringen av vätgas till ett mycket säkerhetskrävande system som kräver stora resurser för att fungera tillfredsställande. Att det dessutom kan komma att förvaras under höga tryck gör hanteringen mer komplicerad.

Lagring av vätgas kan ske antingen genom tryckkomprimering (kostar ungefär 10 % av vätets energiinnehåll), kryogen lagring vid  $-253^{\circ}\text{C}$  (20 K, kokpunkten) som kostar 40 % av energiinnehållet eller genom kemisk bindning till andra ämnen (till exempel metaller) som kostar ungefär 25 % av energiinnehållet då vätgasen ska frigöras igen.

Det finns två kommersiella sätt att tillverka vätgas: reformering, (naturgas blandas med upphettad vattenånga i en katalysatorreaktor, metanet reagerar med vattenången och bildar vätgas samt kolmonoxid) även kallad ångreformering, samt elektrolys (spjälkning av vatten till syre och vätgas genom el). Elektrolys ger även möjlighet till ett helt utsläppsfritt system, förutsatt att elen produceras av förnyelsebara energikällor (Saxe, 2005).

### 5.2 Brandfarlighet

På grund av sin låga antändningsenergi (0,02 mJ) tillsammans med det stora brännbarhetsområdet (4-75 volymprocent) räknas vätgasen som en mycket brandfarlig gas. Detta medför stora risker för brand och explosion vid hanteringen, speciellt eftersom vätgasen är så läckbenägen. Vätgasens farliga egenskaper har också utnyttjats negativt: vid till exempel bomben mot World Trade Center 1993 användes flaskor med komprimerad vätgas för att förstärka bombens effekt.

Vätgas lagrat vid höga tryck medför också ökad risk för självantändning vid ett eventuellt utsläpp. Enbart den statiska energin av jetstrålen som bildas vid en läcka eller från en människa kan räcka för en antändning. Risken för antändning ökar om det förekommer rost vid utsläppsstället (Deimer, 2000). Dagens hantering av vätgas sker med höghållfasta, rostfria material vilket minimerar denna risk.

### 5.3 Vätgas inom anläggningen

Då vätgas är en svårhanterlig och brandfarlig gas är det intressant att veta inom vilka delar av anläggningen den kommer att användas och hur den kommer att förvaras. En annan aspekt är också i vilken grad vätgasen kommer att förbrukas och därigenom kräva transporter av vätgas till anläggningen med de risker detta innebär. På ESS-anläggningen kommer vätgas att användas i två syften, för framställning av vätejoner i jonkällorna samt i moderatorerna vid målstationerna.

#### 5.3.1 Jonkällor

Den jonkälla som troligtvis kommer att användas på ESS är Rutherford Appleton Laboratory (RAL) ISIS Surface Penning source. Den är en utveckling av den jonkälla som används på ISIS, en neutronkälla som finns vid RAL i Storbritannien (The ESS Council, 2004). Syftet med en jonkälla är att skapa negativt laddade vätejoner och detta sker i

Penning source med hjälp av plasma som skapas av elektriska och magnetiska fält samt cesium som en form av katalysator (The ESS Council, 2004). Förbrukningen av cesium är uppskattad till 3 g/månad, baserat på den jonkälla som för tillfället används på RAL (ISIS, 2003). Med hänsyn till övriga ämnen (kvikksilver och vätgas) som ska användas på anläggningen och den mängd som förbrukas ger användningen av cesium sannolikt ett minimalt bidrag till den sammanlagda riskbilden.

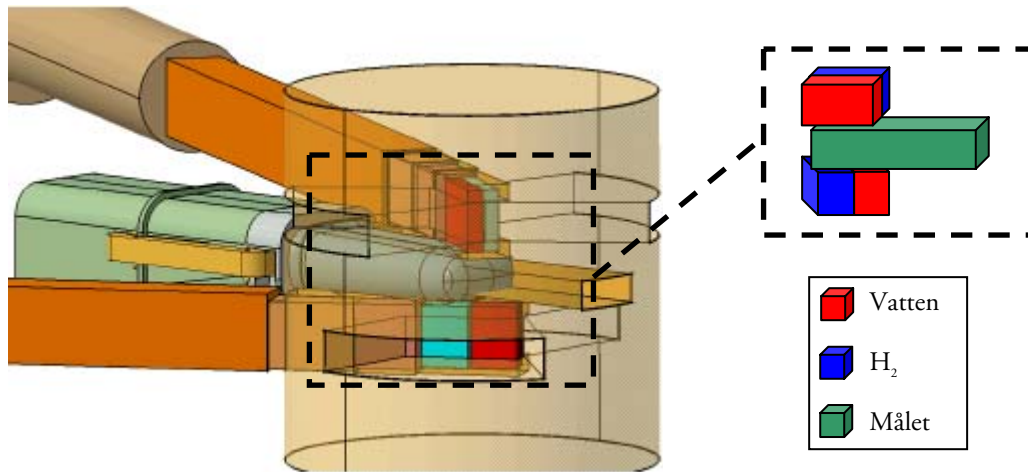
Liksom förbrukningen av cesium används den jonkälla som för tillfället används på RAL som jämförelse för att få en ungefärlig uppfattning om hur mycket vätgas som kommer att förbrukas på ESS. Den jonkällan förbrukar 20 ml vätgas per minut (ISIS, 2003). Detta antas gälla vid NTP (normalt tryck och temperatur). Det antas också gälla under drift och inte som ett medelvärde. ESS beräknar att två jonkällor kommer att behövas samt att drifttiden kommer att vara 5500 h/år (The ESS Council, 2004). Detta ger en total förbrukning av vätgas på cirka 13,2 Nm<sup>3</sup>/år (det vill säga vid NTP) för två jonkällor. En gasflaska med vätgas på 50 l innehåller 10 Nm<sup>3</sup> så förbrukningen är alltså drygt en sådan flaska per år. Jämfört med andra forskningslaboratorier och industrier är detta en relativt liten förbrukning.

### 5.3.2 Moderatorer

Funktionen på moderatorerna är att sakta ned de neutroner som bildas i målet så att de kan användas för experiment. Designen av moderatorerna är föremål för ständig utveckling men i den senaste tekniska dokumentationen används ett system där rumstempererat vatten och flytande väte används som ett moderatorpar, för moderatorernas storlek och placering i relation till målet se tabell respektive figur 4.

Mål	Ovanför		Undertill	
5 MW SP	250x120x25 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	250x120x25 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	120x120x50 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	120x120x50 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O
5 MW LP	250x120x50 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	- -	120x120x50 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	120x120x50 mm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O

Tabell 4 - Innermått på moderatorerna (The ESS Council, 2004).



Figur 4 – Moderatorernas placering vid kortpulsålet, placeringen är likadan vid långpulsålet (The ESS Council, 2004).

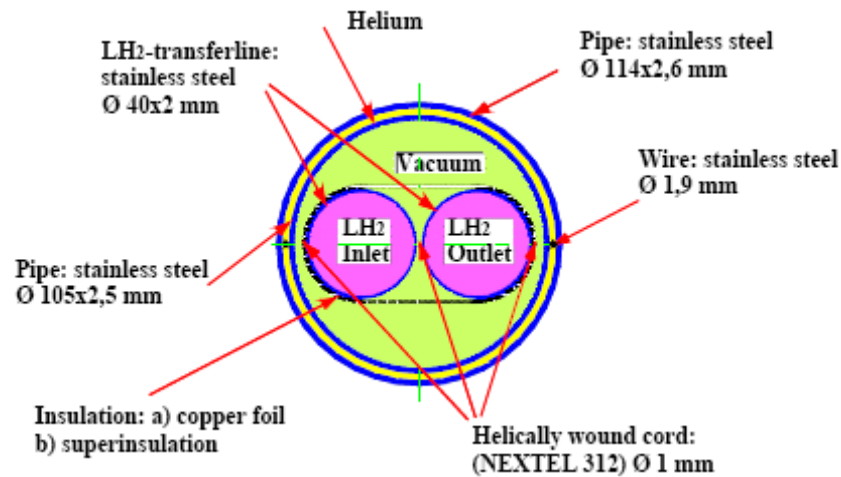
Anledningen till att vätgas används är att den har vissa egenskaper som lämpar sig väl för syftet, men teoretiskt sett är metan en bättre moderator. Användning av metan istället för vätgas skulle vara bättre ur säkerhetssynpunkt då vätgasen är en väldigt svårhanterlig gas. Det finns dock vissa problem förknippat med användandet av metan som inte är lösta i dagsläget. Inom ESS-projektet utförs forskning för att se om dessa problem kan lösas (The ESS Council, 2002b).

Temperaturen på vätgasen i moderatorerna ska hålla cirka  $-250^{\circ}\text{C}$  och för att uppnå detta används ett kylsystem med helium som kyler vätgasen. Arbetstrycket i kylslangan med vätgas ligger på 14-18 bar (The ESS Council, 2004).

Ur säkerhetssynpunkt är det intressant att veta hur mycket vätgas som finns i närheten av målstationerna då en explosion av vätgas kan innebära en risk för utsläpp av kvicksilvret som är tänkt att användas i målen. Själva moderatorerna som innehåller vätgas kommer att innehålla en volym vätgas på  $815\text{ cm}^3$  och  $857\text{ cm}^3$  för den lilla respektive stora behållaren (The ESS Council, 2004). Flytande vätgas har en densitet på  $70,8\text{ kg/m}^3$  (Nationalencyklopedin, 2006) och detta ger en total mängd vätgas i moderatorerna för varje mål på cirka 0,12 kg. Flödet genom moderatorerna är 5,3 l/s och 6,5 l/s för den lilla respektive stora och den totala mängden i flödessystemet är 6,9 kg (The ESS Council, 2004).

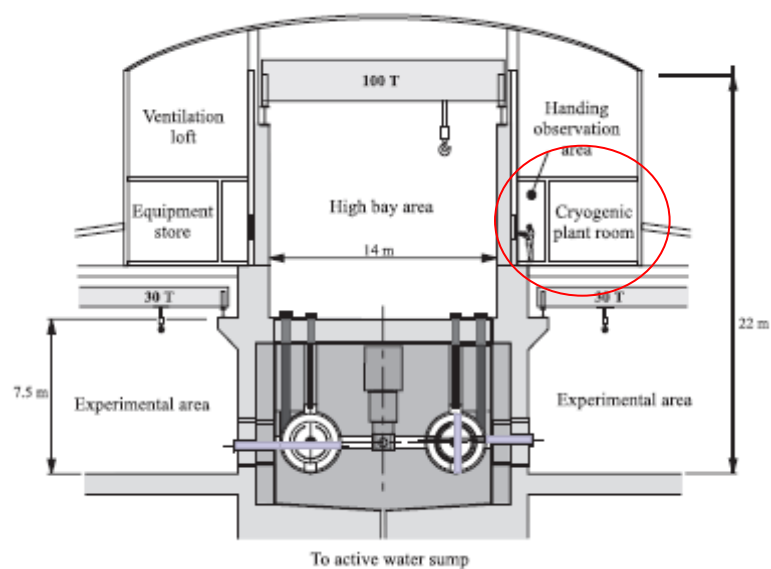
Transporten av vätet sker i rör av rostfritt stål och delas upp i ett rör för inflöde och ett rör för utflöde, se figur 5. Dessa är omgivna av vakuüm inuti ett större rör av rostfritt stål. Utanför det större röret finns ytterligare ett rör och mellan dessa cirkulerar helium (The ESS Council, 2004). Det finns två syften med att ha ett lager av helium runt alla komponenter som innehåller vätgas: det första är att en läcka in till vakuümdelen kan detekteras genom mätning av heliumkoncentrationen och det andra är att det hindrar andra gaser, som luft, från att komma i kontakt med vätgasledningarna. Om detta skulle ske skulle

gasen (luft) frysa omedelbart utan att detekteras. Om en vätgasläcka sker och den frysta gasen samtidigt tinns upp finns en risk att en brandfarlig luft-vätgasblandning bildas (The ESS Council, 2002b).



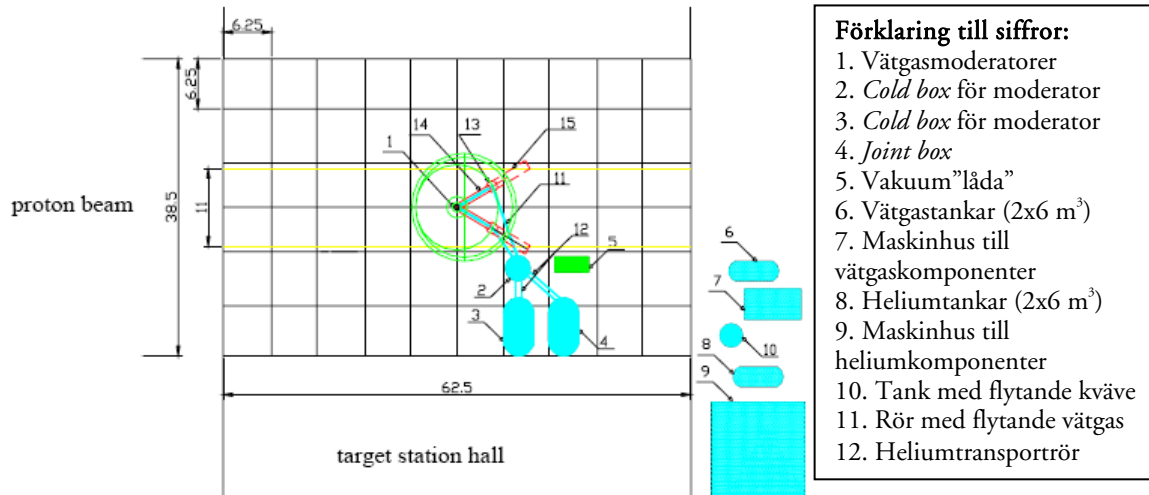
Figur 5 - Tvärsnitt av vätgasledningen (The ESS Council, 2004).

För att minska längden på de rör som transporterar det flytande vätet måste vissa komponenter i vätgassetmet placeras väldigt nära målen, bland annat värmeväxlaren för helium/vätekylningen. Ett utrymme för denna kryogeniska utrustning har planerats strax ovanför målutrymmet, se figur 6.



Figur 6 - Schematiskt tvärsnitt av målbyggnaden, placering av vätgasanläggning markerad. (The ESS Council, 2004).

Utöver detta måste även vissa andra komponenter placeras så nära målbyggnaden som möjligt, bland annat utrustning för vätgasförsörjning och -buffring. Den enda byggnaden som inte måste placeras nära målen är maskinhuset för heliumsystemet som kan placeras så att den försörjer bägge målen samtidigt (The ESS Council, 2004). I figur 7 nedan ges en ungefärlig bild av hur komponenterna i vätgassystemet placeras i förhållande till varandra.



Figur 7 - Komponenterna i vätgassystemet (The ESS Council, 2004).



## 6 Kvicksilver

Kvicksilver är ett vid rumstemperatur flytande grundämne med kemisk beteckning Hg. Namnet är en översättning av den latinska benämningen ”levande silver” som kommer av färgen och lättrörligheten (Nationalencyklopedin, 2006). Det är mycket giftigt men också ett grundämne: därför kan det inte brytas ned eller förstöras till mindre farliga beståndsdelar. Däremot kan stabila föreningar som metylkvicksilver, den mest giftiga formen av kvicksilver, bildas relativt enkelt. Detta sker bland annat genom naturliga processer och metylkvicksilver kan därför bildas i människokroppen vid kvicksilverintag.



Figur 8 - Kvicksilver vid rumstemperatur (Miljöportalen, 2006).

Metalliskt kvicksilver är i sig inte speciellt giftigt, däremot är kvicksilverföreningar, kvicksilverånga och vattenlösningen av kvicksilversalter starkt giftiga. Ämnet är också lösligt i vatten, men med ett starkt temperaturberoende. Kvicksilver kan legera (bilda föreningar) med andra ämnen redan vid rumstemperatur på grund av sitt flytande tillstånd. Dessa legeringar kallas amalgamer. Flytande kvicksilver hanteras i kärl av glas, en del plaster, keramik eller (för mindre mängder) i flaskor av järn (Nationalencyklopedin, 2006).

### 6.1 Förekomst, produktion och utsläpp i Sverige

I Sverige förekommer kvicksilver till största del i berggrunden, men den lilla del som finns i vatten och luft medför att organismer ändå utsätts för det. Ämnets egenskaper innebär att det kan spridas via både vatten och luft under lång tid. Det kan därför spridas över stora områden och drabba inte bara ett enskilt land utan även kringliggande länder (Naturvårdsverket, 1997b).

Källor till kvicksilverutsläpp är till exempel förbränning av avfall, kloralkaliindustrier, gruvindustrier och malmbearbetning. Stora mängder finns även lagrat i varor och avfall. Någon exakt siffra på hur stort Sveriges kvicksilveravfall är finns inte. Men bara en mindre del av

detta avfall kan ses som renodlat kvicksilveravfall, många gånger innehåller avfallet betydande mängder av andra tungmetaller.

De två klor-alkaliindustrier i Sverige som idag har produktion av kvicksilver är Eka Chemicals i Bohus och Hydro Plast i Stenungsund. I en nyhetsnotis från september 2004 angav dock Eka Chemicals att de skulle lägga ned klorproduktionen i slutet av 2005 (Eka Chemical, 2006). Totalt används cirka 335 ton kvicksilver vid dessa båda anläggningar och 7 ton per år uppkommer som bland annat processavfall. Vid de övriga, numera nedlagda, klor-alkalifabrikerna finns förutom deponier och mellanlager även omfattande markföreningar av kvicksilver (Naturvårdsverket, 1997a). Det övriga kvicksilveravfallet i Sverige består av till exempel deponier av batterier, kasserade produkter som innehåller kvicksilver och kvicksilverhaltiga avfallsrester.

I Sverige har en utredning utförd av Kemikalieinspektionen (2004) föreslagit ett generellt förbud mot användning av kvicksilver. Bara det som redan finns på marknaden ska under en övergångsperiod få fortsätta användas. Till exempel ska amalgamanvändningen inom tandvården fasas ut innan 2009 och klor-alkaliindustrin upphör med sin kvicksilveranvändning innan 2010, vilket är i linje med EG-direktiv och internationella konventioner. Utredningen föreslår att Kemikalieinspektionen ska ha möjligheten att ge dispens från detta förbud om det föreligger synnerliga skäl.

### 6.2 Påverkan på organismer

I Sverige är nivågränsvärdet (högsta tillåta exponeringsmängd under en hel arbetsdag) för kvicksilverånga 0,03 mg Hg/m<sup>3</sup> luft (Nationalencyklopedin, 2006). Kvicksilver ger hos människor främst skador på centrala nervsystemet och njurarna, men kan även ge allergiska reaktioner vid hudkontakt. Foster samt små barn utgör därför särskilt känsliga grupper. Konsekvenserna av kvicksilverintag för dessa kan bli skador och missbildningar hos fostret respektive försenad mental och motorisk utveckling hos barnet (Naturvårdsverket, 1997b).

Källor till exponering är bland annat kvicksilverhaltigt amalgam och insjöfisk för den större delen av allmänheten. Inom den yrkesmässiga hanteringen exponeras främst arbetande inom klor-alkaliindustrin, elektronikindustrin samt tandvården.

Kvicksilver har en förmåga att deponeras till växtlighet, mark och sjöytor. Detta gör att det kan återgå till atmosfären, bindas till de organiska material som finns i marken eller transporteras till vattendrag, bäckar och sjöar vilket ytterligare ökar spridningen.

### 6.3 Förvar av kvicksilveravfall

Naturvårdsverket anser att ett djupt bergförvar är det bästa alternativet för slutförvaring av kvicksilverhaltigt avfall. Ett sådant skyddar inte bara mot mekanisk påverkan (intrång, tunnelbyggen med mera) utan ger även ett skydd mot att kvicksilver löses i grundvattnet, liknande det förvar som föreslagits för radioaktivt högriskavfall. Ett djupt bergförvar skulle även vara ekonomiskt försvarbart (Naturvårdsverket, 1997a).

Slutförvaringen av kvicksilver har utretts av Naturvårdsverket samt i Statens offentliga utredningar (SOU 2001:58). Dessa utredningar har bara berört rent kvicksilver eller avfall som innehåller kvicksilver. I *Slutförvar av kvicksilver* (Naturvårdsverket, 1997a) står det att ”den bästa lösningen från miljösynpunkt är att avveckla användningen av kvicksilver och dra det ut ur kretsloppet genom att samla in och slutförvara avfallet”. Detta på grund av att kvicksilver är ett av de allra farligaste miljögifterna, lättflyktigt och inte kan brytas ned i mindre farliga beståndsdelar.

För ESS-anläggningens radioaktiva kvicksilveravfall föreslås dels ytdeponier för låg- och medelaktivt avfall dels ett djupt bergförvar för det högaktiva avfallet. Vid slutförvaring måste avfallet vara i fast form, därför måste allt eventuellt kvicksilveravfall först konverteras till en fast förening, det vill säga till amalgam (The ESS Council, 2004).

### 6.4 Målmaterial

Då effekten på ESS överstiger existerande och planerade spallationsanläggningar måste alternativen på målmaterial undersökas så att det klarar av de påfrestningar detta innebär samtidigt som det klarar av uppgiften. Lämpligheten av ett material bedöms utifrån följande kriterier (The ESS Council, 2004):

- En hög produktion av neutroner.
- Densiteten ska vara hög.
- Strålningsstabil material för lång livstid.
- Låg absorption av neutroner.
- Låg eftervärmning och radioaktivitet för att underlätta underhåll och avveckling.
- Förekomst och kostnad.

Som möjliga material med hänsyn till dessa krav framfördes i den ursprungliga tekniska dokumentationen bly, vismut, bly/magnesium-blandning, bly/vismut-blandning och kvicksilver. I den senaste dokumentationen är det istället volfram, bly/vismut eller kvicksilver som framhålls som lämpliga material.

Utöver kriterierna ovan finns det ur kylsynpunkt två alternativ att ta hänsyn till, dessa är om ett roterande fast eller cirkulerande flytande målmaterial ska användas. Av dessa anses

ett flytande material vara det mest lämpliga med följande fördelar (The ESS Council, 2004):

- Det uppstår inga strålningsskador i materialet, endast på behållaren.
- Densiteten reduceras inte på grund av kylvatten i målvolymer som behövs vid ett fast material.
- Mindre mängd vatten kontamineras då kylningen sker utanför strålområdet.
- Lägre specifik aktivitet eftersom den totala massan är större.

Av de lämpliga materialen återstår då en flytande bly/vismut-blandning eller kvicksilver eftersom ett mål av volfram skulle vara i fast form. Av dessa två anges kvicksilver vara den bättre lösningen med följande argument (The ESS Council, 2004):

- Kvicksilver är redan flytande vid rumstemperatur vilket gör att ingen ytterligare uppvärmning krävs.
- Inga långlivade alfastrålande isotoper bildas samtidigt som samtliga kvicksilverisotoper som bildas har kortare halveringstid än 50 dagar, förutom Hg-194 som anges ha en halveringstid på 367 år. (i en annan del av ESS-dokumentationen anges halveringstiden till 520 år)
- Bättre kompatibilitet med byggnadsmaterialet, det vill säga stål.

Kvicksilvret ska cirkulera i ett slutet system som innefattar bland annat målet, en dräneringstank och en gasseparator. Den totala mängden kvicksilver är 15-20 ton per mål och det är den mängd som ska användas under hela anläggningens livstid (The ESS Council, 2004).

En jämförelse med andra spallationsanläggningar visar att den kraftigaste existerande anläggningen (ISIS i Storbritannien) använder fast volfram som målmaterial medan de två anläggningar som byggs i Japan och USA båda ska använda flytande kvicksilver.

Anläggning	Land	Effekt från accelerator	Typ av målmaterial
ISIS	Storbritannien	160 kW	Volfram
ISIS 2 (under konstruktion)	Storbritannien	48 kW	Volfram
SNS (under konstruktion)	USA	1,4 MW	Kvicksilver
J-PARC (under konstruktion)	Japan	1 MW	Kvicksilver
ESS (planerad)	?	5 MW (per mål)	Kvicksilver (planerat)
SINQ (kontinuerlig protonstråle)	Schweiz	0,75 MW	Bly (ska göra försök med bly/vismut)

Tabell 5 - Jämförelse mellan existerande och planerade spallationsanläggningar (ISIS, Spallation Neutron Source, Japan Proton Accelerator Research Complex och Swiss Spallation Neutron Source).

### 6.4.1 Alternativa material

Användningen av något av alternativen volfram eller bly/vismut innebär både fördelar och nackdelar jämfört med kvicksilver. Fördelen med ett fast mål i volfram är att den totala radioaktiviteten blir väsentligt mindre än om kvicksilver används. Samtidigt blir innehållet av radioaktivt material i anläggningen en given tidpunkt ännu mindre eftersom målet måste bytas ut flera gånger under anläggningens livstid. Nackdelen med ett fast mål är att en större mängd kylvatten blir radioaktivt eftersom kylningen i sådant fall skulle behöva placeras närmare målet. Dessa faktorer leder till skillnader vad gäller utformningen av anläggningen och de riskbedömningar som görs eftersom mängden och lokaliseringen av radioaktivt material förändras (The ESS Council, 2004).

I nuläget används inte en bly/vismut-blandning som målmaterial i någon spallationsanläggning men forskning har gjorts för att undersöka materialets lämplighet. De iakttagelser som är intressanta är huvudsakligen följande:

- Alfastrålande isotoper till Polonium bildas där Po-210, Po-209 och Po-208 är de viktigaste (Yefimov et al, 1999). Dessa har en halveringstid på 140 dagar, 100 år respektive 2,9 år (Argonne National Laboratory, 2005).
- Ganska stora mängder kvicksilver bildas (Groeschel et al, 2003).
- Det bildas gaser och flyktiga ämnen som innebär problem med trycket och även det faktum att en del av dem är radioaktiva (Groeschel et al, 2003).

## 7 Strålning

En av de stora skillnaderna mellan ett mål bestående av bly/vismut eller kvicksilver är att de isotoper som bildas sönderfaller olika med olika typer av strålning som resultat. Bly/vismut leder till bildandet av långlivade poloniumisotoper som sönderfaller med alfastrålning medan de kvicksilverisotoper som bildas i kvicksilvermålet huvudsakligen sönderfaller med gammastrålning (The ESS Council, 2004). För att göra en bedömning av inverkan på säkerheten måste strålningstypen tas i beaktning.

### 7.1 Alfastrålning

Denna typ av strålning utgörs av alfapartiklar som består av två protoner och två neutroner, det vill säga en heliumkärna. Alfastrålning har mycket kort räckvidd och till och med ett papper stoppar den. Eftersom partiklarna inte kan tränga igenom huden är alfastrålning endast farlig för människor om det strålände ämnet hamnar i kroppen genom exempelvis inandningsluften eller föda. Samtidigt så orsakar en dos alfastrålning mer än 20 gånger så stor biologisk skada som motsvarande dos av betastrålning (Statens strålskyddsinstitut, 2006).

### 7.2 Betastrålning

Betapartiklar består av elektroner och/eller positroner (positivt laddad elektron) och har längre räckvidd än alfastrålning. Den stoppas av kläder men kan orsaka ytliga skador i exempelvis ögon och huden (Statens strålskyddsinstitut, 2006).

### 7.3 Gammastrålning

Gammastrålning utgörs av elektromagnetisk strålning. Till skillnad från alfa- och betastrålning passerar den mycket lätt genom olika typer av material. Gammastrålning kan även färdas långa sträckor i luft, upp till flera hundra meter, och för att reducera den till en acceptabel nivå krävs det, beroende på intensiteten, upp till någon decimeter tjock blybarriär (Statens strålskyddsinstitut, 2006).

### 7.4 Strålningsdoser till allmänheten

Inom ramen för detta arbete kommer inga strålningsberäkningar att göras då det ligger utanför författarnas kompetensområde. Däremot kommer de framräknade strålningsdoserna som finns i den tekniska dokumentationen att jämföras med svensk/europeisk lag och rekommendationer för att se om de överensstämmer. Eftersom inriktningen på arbetet är riskbedömning ur ett samhällsperspektiv kommer därför ingen jämförelse att göras vad gäller strålningsdoser till personal på anläggningen.

### 7.4.1 Europa

Den EU-lagstiftning som använts som referens i ESS dokumentationen säger (EU-direktiv 96/29/Euratom, 1996):

*”Gränserna för effektiv dos skall vara 1 mSv per år. Under särskilda omständigheter får emellertid en högre effektiv dos tillåtas under ett enda år, förutsatt att medelvärdet under fem år i följd inte överstiger 1 mSv per år.”*

samt

*”Alla medlemsstater skall vidta rimliga åtgärder för att säkerställa att tillskottet till den bestrålning som hela befolkningen utsätts för till följd av olika verksamheter hålls så låg som man rimligen kan åstadkomma under beaktande av ekonomiska och sociala faktorer.”*

### 7.4.2 Sverige

Den ansvariga myndigheten för all verksamhet som innehåller strålning i Sverige är Statens Strålskyddsinstitut (SSI). Eftersom *Strålskyddslagen* (1988:220) är en ramlag ansvarar SSI för att ge ut föreskrifter som innehåller mer detaljerade bestämmelser. Huvuddelen av föreskrifterna rör kärnteknisk eller medicinsk strålning och är alltså inte direkt tillämplig i detta fall. Det finns *Föreskrifter om verksamhet med accelerators och slutna strålkällor* (SSI FS 2000:9) men denna innehåller inga uppgifter om stråldoser utan handlar mest om hur organisation och rutiner för anläggningen ska se ut. Den föreskrift som behandlar stråldoser heter *Föreskrifter om dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning* (SSI FS 1998:4). I denna anges samma stråldoser som i EU-lagstiftningen och det anges också att om flera verksamheter kan ge dosbidrag till en särskild individ så ska särskilda föreskrifter eller villkor ges för de olika verksamheterna. Detta innebär att 1 mSv/år är en totaldos för en individ istället för hur mycket en enskild verksamhet får påverka allmänheten.

Förutom de lagar som reglerar strålning har regeringen dessutom beslutat om 15 miljö kvalitetsmål som ska leda till ett samhälle som har en hållbar utveckling ur ekologisk synpunkt. Dessa mål ska försöka nås inom en generation. Ett av dessa mål heter *Säker strålmiljö* som är SSI:s ansvarsområde. Inom detta finns bland annat ett delmål som säger att år 2010 ska varje enskild verksamhet endast ge ett dosbidrag på 0,01 mSv/år till allmänheten (Statens Strålskyddsinstitut, 1999). Detta är alltså en faktor 100 mindre än de gränsvärden som använts vid projekteringen för ESS. Med nuvarande utformning kommer ESS inte att klara av dessa gränsvärden. Dessa stråldosgränser kan jämföras med den dos på 4 mSv som genomsnittssvensken får per år från exempelvis naturliga strålkällor, radon och röntgen, se tabell 6.

Källa	Ungefärlig strålningsdos (mSv/person och år)
Kosmisk strålning	0,3
Markstrålning	0,5
Egna kroppen	0,2
Radon	2
Medicinsk strålning	0,7
Kärnkraftverk	0,1 (högsta tillåtna dos)
Totalt	Ca 4

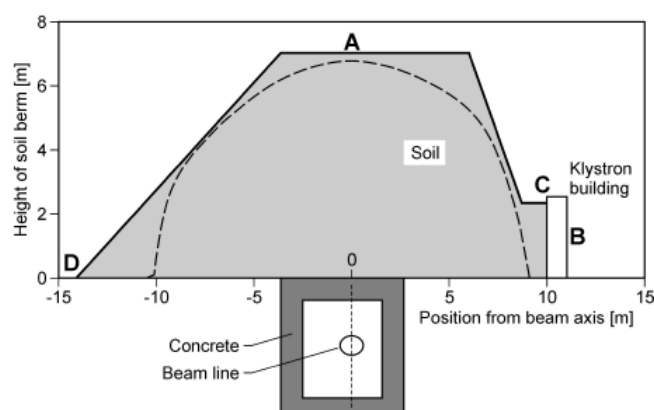
Tabell 6 - Årliga strålningsdoser för genomsnittssvensken per strålkälla (Statens strålskyddsinstitut, 2006).

### 7.5 Strålningskydd vid acceleratoren och målstationerna

Strålningen som uppstår från acceleratoren och målstationerna måste reduceras för att uppfylla de gränsvärden som regleras av lagstiftningen. Detta uppnås genom kraftiga barriärer av jord, stål och betong.

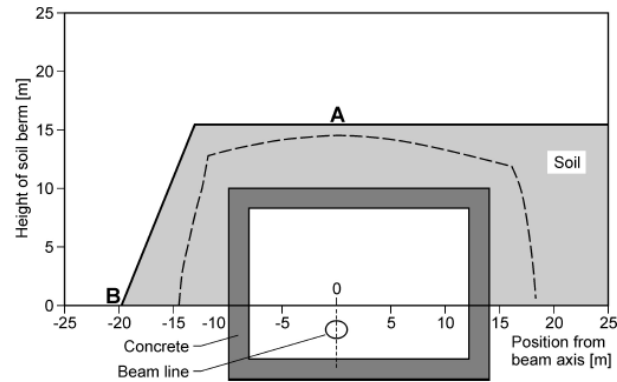
#### 7.5.1 Acceleratoren

Acceleratoren skyddas utomhus av betong och stora mängder jord (se bilder nedan) och inomhus av betong och stål. Den inre strålningsbarriären är designad för att minska stråldosen till  $0,5 \mu\text{S/h}$  till experimentområdet och  $3 \mu\text{S/h}$  till de kontrollerade serviceområdena (The ESS Council, 2004). Preliminära beräkningar visar att tjockleken på barriären inomhus måste vara 1-1,5 meter betong och 2-2,5 meter stål (The ESS Council, 2004).



Figur 9 - Strålningskydd runt acceleratoren (The ESS Council, 2004).



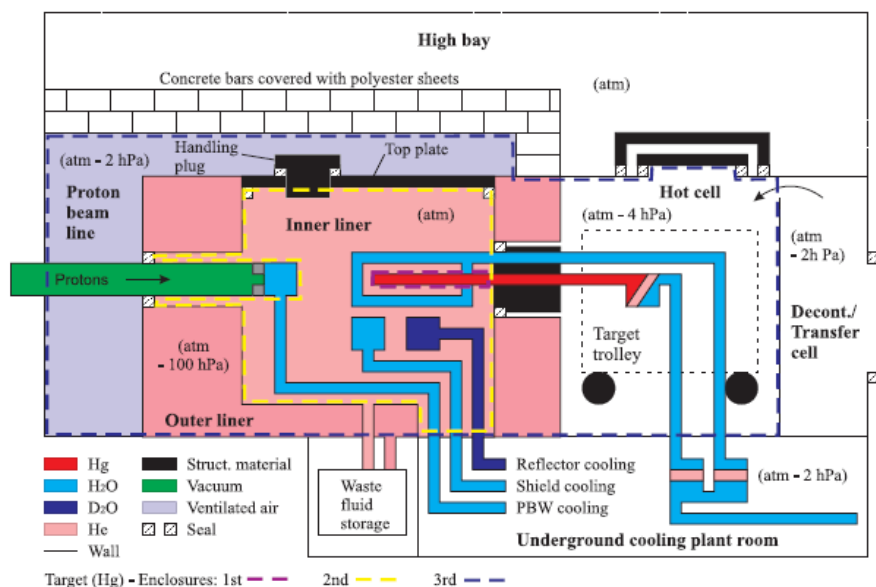


Figur 10 - Strålningsskydd runt kompressorringen (The ESS Council, 2004).

### 7.5.2 Målstationerna

Liksom för acceleratoren är den inre strålningsbarriären vid målen designad för att minska stråldosen till  $0,5 \mu\text{S/h}$  till experimentområdet och  $3 \mu\text{S/h}$  till de kontrollerade serviceområdena (The ESS Council, 2004). Detta ska uppnås genom barriärer av stål på 4-5 meter och betong på 1-2 meter (The ESS Council, 2004).

Säkerhetssystemet för att undvika att det bildas en blandning av vätgas och syre (som kan leda till en explosion) vid en eventuell vätgasläcka består av ett antal olika barriärer. Den första barriären består av rörsystemet för vätgasen, se kapitel 5.3.2. Den andra barriären består av inert helium vid högre tryck än omgivande område för att undvika att syrgas tar sig in ("inner liner" i figur 11). Utanför detta finns ytterligare ett område ("outer liner") som även innehåller ett ventilerat område (The ESS Council, 2004).



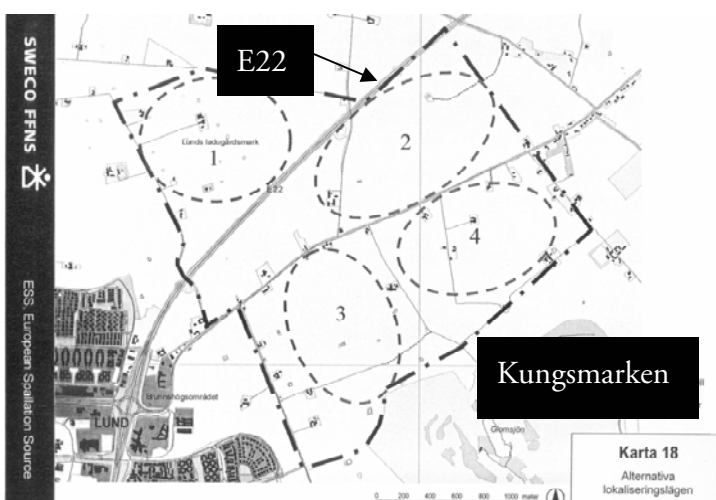
Figur 11 - Barriärsystem vid målet, tvärsnitt (The ESS Council, 2004).

## 8 Anläggningens placering och utbredning

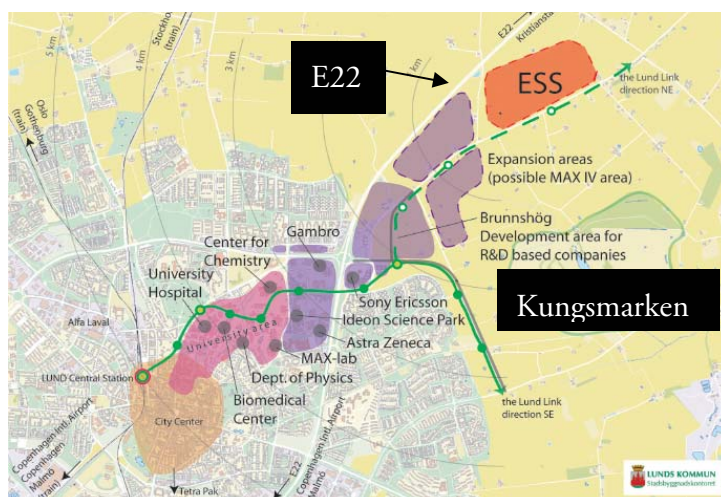
Följande kapitel handlar om den yta som enligt den tekniska dokumentationen krävs för anläggningen och överensstämmelsen mellan denna yta och de planer och utredningar som gjorts.

### 8.1 Översiktsplan

Inför ansökan om att placera ESS-anläggningen i Lund gjordes en utredning av konsultbolaget SWECO FFNS AB på uppdrag av Lunds kommun. Utredningen undersökte en del av de faktorer som skulle finnas med i ansökan, till exempel geologiska och hydrologiska förhållanden. Det område som behandlades i utredningen var ett cirka 7 km<sup>2</sup> stort område nordost om Lund. I detta område identifierades fyra alternativa placeringar av anläggningen (se figur 12). I den ansökan som gjordes för placering av anläggningen i Sverige presenterades alternativ 2 från SWECOs utredning (se figur 13).

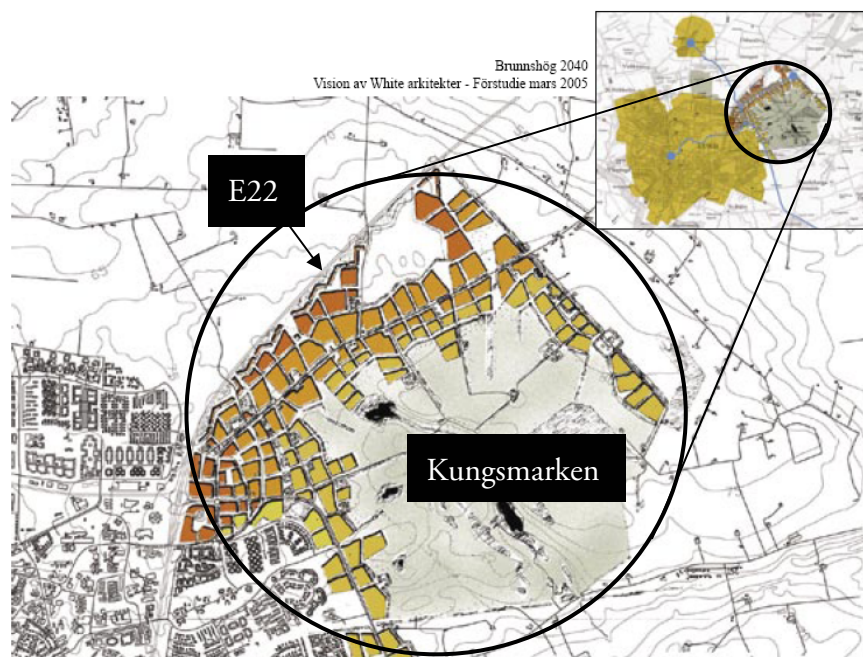


Figur 12 - Alternativa lokaliseringslägen (SWECO FFNS, 2002).



Figur 13 - Bild från Skandinaviens ansökan om ESS-anläggningen (Matic, 2002).

Nuvarande översiktsplan för Lunds kommun (ÖPL-98) innehåller ingen planerad utbyggnad på området som undersöktes (Stadsarkitektkontoret i Lund, 1998). Det har däremot gjorts skisser för en ny stadsdel i området som innefattar 25 000 bostäder och 50 000 arbetsplatser år 2040. Även ESS-anläggningen finns med i skisserna och är placerad med bebyggelse runt om. Tidigare var planen för området eventuella högteknologiska företag. Inga politiska beslut om detta är fattade ännu (Nathéll, 2005).



Figur 14 - Skiss för Brunshögsområdet gjord av White arkitekter (Stadsbyggnadskontoret i Lund, 2005).

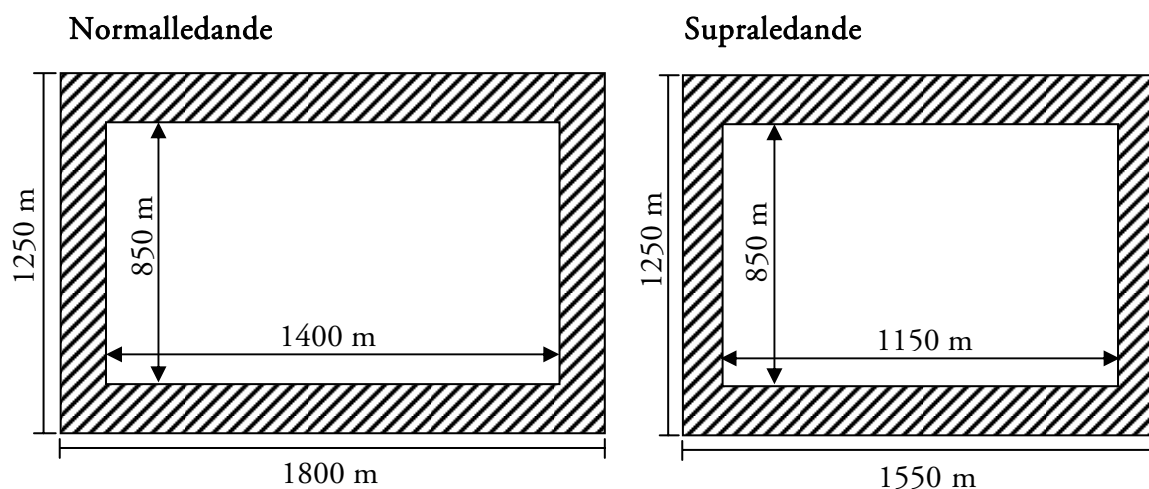
Utöver eventuell framtida bebyggelse i närheten finns även naturreservatet Kungsmarken strax söder om det undersökta området.

## 8.2 Utbredning

Den största faktorn som påverkar anläggningens storlek är acceleratoren. Det finns två olika typer av accelerators som undersökts, en normalledande och en supraledande. Den stora skillnaden är att en supraledande accelerator blir cirka 250 meter kortare (The ESS Council, 2004). Den yta som krävs för den normalledande typen är minst 1400x850 m (cirka 1,19 km<sup>2</sup>) och för den supraledande minst 1150x850 m (cirka 0,98 km<sup>2</sup>). Det anges även att ytan måste vara rektangulär i formen. Det krävs även ett band på 200 meter runt anläggningen där byggnation ska kunna kontrolleras av ledningen för att möjliggöra utvidgning och undvika problem i det långa loppet (The ESS Council, 2002b).

Avståndet från en stor neutronkälla inom området (målstationerna, accelerator och kompressorring) till anläggningsgränsen anges till 300 meter (The ESS Council, 2004). Studie av de kartor över anläggningen som redovisas i dokumentationen tyder på att detta

avstånd är inklusive de 200 meterna utanför själva anläggningen. Detta ger ytor som följer (streckat område är de 200 meterna utanför själva anläggningen):



$$\text{Ytkrav} = 1800 \times 1250 \text{ m} = 2,25 \text{ km}^2$$

$$\text{Ytkrav} = 1550 \times 1250 \text{ m} \approx 1,94 \text{ km}^2$$

Utgångspunkten i rapporten från SWECO har varit en anläggningsyta på 1300x800 m för normalledande och 1150x800 m för supraledande. Det anses i SWECOS rapport dessutom troligt att en nyanserad planering av tomten kan innebära en väsentligt annorlunda disponering (SWECO FFNS, 2002). Huruvida detta är möjligt ur exempelvis strålningskyddssynpunkt utreds inte närmare men troligtvis påverkas strålningsberäkningarna vid riskbedömningen av en annan placering av byggnaderna. Faktum kvarstår dock att de extra 200 meterna utanför själva anläggningen inte verkar ha tagits med i beräkningarna i rapporten från SWECO.

### 8.3 Riskavstånd

Det förväntade avstånd mellan anläggningen och allmänheten som använts vid beräkningarna av radioaktiv dos för riskbedömningarna är 250-300 meter (The ESS Council, 2004). Detta avstånd tolkas som avståndet mellan en större neutronkälla och allmänheten, inte avståndet från anläggningsgränsen och allmänheten. De slutsatser som dragits av de riskbedömningar som gjorts är att tekniska eller administrativa åtgärder för att minska konsekvenserna eller frekvenserna av olyckor är i hög grad nödvändiga (The ESS Council, 2004). Det anges också att ytterligare arbete bör göras vad gäller tekniska lösningar för säkerhetssystem samt att vidare riskanalyser måste utföras (The ESS Council, 2004). Det redovisas inget arbete som eventuellt har gjorts för att bedöma övriga risker utöver strålningen, exempelvis vätgashantering.

## 9 Kommunen och ESS

Eftersom planeringen av anläggningen ännu inte är klar har inte heller räddningstjänsten gjort något större arbete inför en eventuell placering i Lund. De slutsatser om fortsatt arbete som behövs ligger huvudsakligen på en allmän nivå och är liknande för alla nybyggnationer av större anläggningar (M. Streer, personlig kommunikation, 23 januari, 2006). Det är också tänkbart att anläggningen kommer att klassas som en anläggning som innehåller farlig verksamhet enligt §2:4 i *Lag (2003:778) om skydd mot olyckor*. Detta innebär att särskilda krav ställs på anläggningen för att förhindra och begränsa olyckor, mer vad detta innefattar beskrivs nedan.

### 9.1 Anläggningen som riskobjekt

För att avgöra om anläggningen ska klassas som en Seveso II-anläggning används gränser för den mängd av farliga ämnen som hanteras. Gränsvärdet för kvicksilver bestäms av klassificeringen som ett giftigt ämne och är 50 ton. Anläggningen kommer att innehålla cirka 30-40 ton kvicksilver och hamnar därmed under gränsvärdet. Huruvida radioaktiviteten som kommer att uppstå i anläggningen kommer att påverka klassificeringen är okänt, men i regelverket anges att faror som har samband med joniserande strålning är undantagna. Avsikten är att sådan verksamhet som regleras av *Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet* inte ska omfattas av Sevesobestämmelserna (Arbetsmiljöverket, Naturvårdsverket & Räddningsverket, 2004). ESS-anläggningen är emellertid av sådan art att den antagligen inte omfattas av lagen om kärnteknisk verksamhet.

Även om Sevesolagstiftningen inte är direkt applicerbar finns möjligheten att anläggningen kan klassas som en anläggning som innehåller farlig verksamhet, enligt §2:4 i *Lag (2003:778) om skydd mot olyckor*, av Länsstyrelsen. Detta innebär att:

*”Vid en anläggning där verksamheten innebär fara för att en olycka skall orsaka allvarliga skador på människor eller miljön, är anläggningens ägare eller den som utövar verksamheten på anläggningen skyldig att i skälig omfattning hålla eller bekosta beredskap med personal och egendom och i övrigt vidta nödvändiga åtgärder för att hindra eller begränsa sådana skador.”*

Ett förtydligande av vad detta innebär finns i *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om skyldigheter vid farlig verksamhet* (SRVFS 2004:8). I råden ges rekommendationer om tolkning och innebörd av vad som krävs vad gäller riskanalys, beredskap, varningssystem till allmänheten och information till myndigheter. De krav som ställs på anläggningen ska i de flesta fall utarbetas i samarbete med berörd myndighet, huvudsakligen kommunen. Exempel på beredskapsåtgärder som kan behövas är personalåtgärder

(exempelvis egen räddningsstyrka), egendomsåtgärder (exempelvis utrustning för uppsamling av kemikalier) och anläggningstekniska åtgärder (exempelvis ventilationssystem).

## 9.2 Ansvarsområden

I plan- och byggskedet av en farlig verksamhet enligt §2:4 är det länsstyrelsen som är gransknings- och remissinstans. Det är även länsstyrelsen som övervakar hur kommunen (räddningstjänsten) planerar och kontrollerar anläggningens säkerhetsarbete. Det är alltså kommunen som är delaktig vid säkerhetsarbetet för anläggningen både vid byggnation och vid drift men länsstyrelsen har till uppgift att kontrollera kommunens arbete med detta.

Det största ansvaret för anläggningens säkerhet åligger ägaren eller verksamhetsutövaren vilket exempelvis inkluderar framtagande av insatsplaner och användning av aktiva system såsom sprinkler. Räddningstjänstens roll är att utföra tillsyn över säkerhetsarbetet för att tillse att det följer gällande lagstiftning. Räddningstjänsten kommer också att samverka med ägaren för den egna planeringen avseende exempelvis åtkomlighet, brandtekniska installationer och insatsövningar. När det gäller säkerhetsarbetet så är framför allt räddningstjänsten inblandade men när det gäller projektet ESS i stort så kommer även andra kommunala förvaltningar att vara delaktiga, till exempel stadsbyggnadskontoret vad gäller frågor om anläggningens placering och bebyggelse i närheten samt miljöförvaltningen vad gäller anläggningens påverkan på miljön.

Eftersom anläggningen kommer att innehålla en linjäraccelerator innebär detta att joniserande strålning kommer att förekomma. En sådan accelerator skiljer sig ganska markant från en kärnreaktor eftersom ingen kedjereaktion sker, men kommunen kan antagligen utnyttja de resurser och kunskaper som finns i Skåne län tack vare Barsebäcksverket.

## 10 Olycksscenarier

Utifrån det underlag som tagits fram har fyra typer av anläggningsspecifika olycksscenarier identifierats. Tänkbara orsaker och konsekvenser av dessa beskrivs nedan tillsammans med kvalitativa diskussioner om vilken betydelse de har för anläggningens säkerhet. De utvalda scenariona grundar sig på uppfattningen om vilka egenskaper och processer som kan medföra stor påverkan för tredje person, det vill säga samhället. Denna uppfattning baseras i sin tur på den dokumentation som finns på anläggningen samt data hos de ämnen som är planerade att användas. Hänsyn har främst tagits till de konsekvenser som eventuella olyckor kan medföra medan orsakerna till dessa däremot är föremål för framtida analyser. Risker av mer vardagskaraktär såsom vanlig brand och personolyckor har inte beaktats eftersom arbetet är inriktat på risker som kan ha större påverkan på omgivningen.

### 10.1 Transporter

Verksamheten på anläggningen kommer att innebära att transporter av farligt gods kommer att ske till och från anläggningen. Dessa består huvudsakligen av vätgas transporter men även transporter av radioaktivt material. Det radioaktiva materialet består av komponenter från målstationerna som måste bytas ut alltifrån ett par gånger under anläggningens livstid till ett par gånger per år. Huvuddelen av detta avfall kommer att vara låg- eller medelaktivt kvicksilver (The ESS Council, 2004). I dokumentationen av ESS framgår det dock inte om avfallet ska mellanlagras på plats eller inte, detta påverkar i sin tur antalet nödvändiga transporter.

Olyckor med dessa transporter kan inträffa dels vid färd till/från anläggningen eller vid lastning/lossning inne på anläggningen. Det som ger störst konsekvenser för allmänheten är en olycka vid transportereringen medan en olycka inne på anläggningen i större grad påverkar personalen. Däremot kan en olycka vid lastning/lossning inom anläggningen få följd-konsekvenser som drabbar allmänheten. Exempel på detta skulle kunna vara en gasmoln-explosion som följd av ett vätgasutsläpp. En sådan explosion alstrar värmestrålning samt en tryckvåg som kan ge följdkonsekvenser i form av skador på byggnader, utrustning med mera på ett stort avstånd. Mängden vätgas som kommer att användas på anläggningen är relativt liten vilket gör att transportererna inte kommer att bli särskilt många och därmed är risken för en sådan olycka begränsad.

### 10.2 Kvicksilverläckage

Anledningarna till ett kvicksilverläckage kan sägas variera mellan ytterligheterna brister i kvicksilversystemet, såsom sprickor eller otäta anslutningar, till upphettning av kvicksilvret på grund av kylningsbortfall. Mindre läckage leder till ökad strålning och risk för förgiftning för dem som vistas i anläggningen men påverkar inte omgivningen i någon större grad

såvida det inte leder till en värre olycka. Betydligt allvarligare konsekvenser uppstår om neutronstrålning av kvicksilvermålet pågår samtidigt som kylsystemet havererar. Detta kan orsaka kokning av kvicksilvret vilket i värsta fall kan leda till ett okontrollerat, större utsläpp.

Följderna av ett läckage är beroende av utsläppt mängd, typ av läckage, varaktighet, olycksberedskap, inneslutningens utformning med mera. Ett kvicksilverläckage från målet behöver inte nödvändigtvis innebära ett utsläpp till omgivningen om inneslutningen utformas på ett lämpligt sätt. Den exakta konsekvensen och omfattningen av ett läckage är därför svårbedömt. Samtidigt kan inte kvicksilvers giftighet underskattas, speciellt inte i kombination med radioaktivitet. Även relativt måttliga utsläpp till omgivningen kan därför leda till kontaminering av miljö samt skador på levande organismer enligt resonemang i kapitel 6.

### *10.3 Vätgasexplosion/brand*

Vätgasens egenskaper gör den till en svårhanterlig gas. Ett läckage med efterföljande explosion/brand kan ge svåra skador på byggnader och människor och kan i värsta fall leda till flertalet omkomna. Däremot behöver en olycka med vätgas inte leda till någon direkt konsekvens för allmänheten men den kan få följdkonsekvenser som påverkar anläggningens säkerhet enligt resonemanget med transportererna.

Den teoretiska explosionsenergin för vätgas är cirka 2 kg TNT/m<sup>3</sup> gas (Saxe, 2005). Moderatorsystemet innehåller 6,9 kg vätgas som motsvarar cirka 82 m<sup>3</sup> (Deimer, 2000). Detta ger alltså en teoretisk största explosionsenergi motsvarande ungefär 164 kg TNT enbart för den mängd gas som finns i moderatorsystemet. Denna mängd TNT motsvarar lite mer än kraften i vissa typer av fartygsminor från Andra Världskriget (Hägvall, Jerberyd & Ström, 2005). För att en explosion av denna storlek ska kunna inträffa krävs att vätgasen läcker ut till ett område där det finns luft, att vätgasen och luften blandas så att brännbar koncentration uppnås samt att en antändning sker. Sannolikheten för en olycka av denna storlek är därför relativt liten. Detta förutsätter att vätgassystemet utformas så att en blandning mellan vätgas och luft försvåras i så stor utsträckning som möjligt, exempelvis genom systemet med vakuum och helium som tidigare nämnts. Konsekvenserna av ett vätgasläckage kan också begränsas genom system för tidig detektering av ett utsläpp eller genom system för tryckavlastning (vid en explosion).

Utöver denna vätgas kommer det dessutom att finnas lagringstankar på området, enligt figur 7. I den tekniska dokumentationen framgår det inte exakt var dessa kommer att placeras vilket är avgörande för den risk de kan innebära. Avståndet till kritiska byggnader såsom målstationerna bestämmer hur stor konsekvens en eventuell brand eller explosion kan medföra.



#### *10.4 Vätgasexplosion/brand som leder till kvicksilverläckage*

Det värsta tänkbara scenariot är om en explosion eller brand sker i anslutning till målstationen och leder till en försvagning av inneslutningen samtidigt som en upphettning av kvicksilvret sker. Redan vid rumstemperatur förångas kvicksilver så pass mycket att den ger en skadlig koncentration i luften (Nationalencyklopedin, 2006). En upphettning av kvicksilvret leder till en ökad förångning vilket alltså ger ännu högre koncentrationer. I värsta fall kan dessa faktorer alltså gemensamt orsaka en spridning av radioaktivt och giftigt kvicksilver och annat material över en mycket stor yta. Om sannolikheten och konsekvensen av ett vätgasläckage begränsas enligt tidigare resonemang minskar kraftigt risken för en olycka av det här slaget.

## 11 Diskussion kring metod och genomförande

Detta arbete inleddes i oktober 2005 och de fakta som fanns om ämnet vid det tillfället har legat till grund för det arbete som utförts sedan dess. Under tiden har utvecklingen kring ESS-arbetet fortsatt och nya diskussioner har uppkommit. Detta ledde till att de alternativa material som fanns med i den tekniska dokumentationen från början lyftes fram och att inriktningen blev att endast långpulsmålet ska byggas i Lund. Dessa nya planer har dock, enligt författarnas uppfattning, inte föranlett några förändringar i den tekniska dokumentationen eller några nya beslut och därför har ingen hänsyn till dessa diskussioner tagits i arbetet.

Det uppsatta syftet med arbetet var att titta på anläggningen ur ett brett riskperspektiv, identifiera de faktorer som har störst betydelse för säkerheten samt att föreslå åtgärder för att minska risken de innebär. Syftet anses uppfyllt, ur en kvalitativ synvinkel. Det skede som ESS-projektet befinner sig i just nu utgör i sig en begränsande faktor för att göra en tillförlitlig kvantitativ riskanalys. Den skulle också kräva kunskaper om bland annat joniserande strålning, något som ligger utanför författarnas kompetensområde. På grund av dessa osäkerheter är det tveksamt om några användbara slutsatser hade kunnat dras från en sådan riskanalys.

En alternativ utgångspunkt hade varit att utvärdera den riskanalys som finns i den tekniska dokumentationen. Anledningarna till att detta inte har gjorts är delvis samma som varför en egen riskanalys inte genomförts men även att den till större del är inriktad på strålning och inte direkt berör riskerna med till exempel vätgas.

För att kunna skriva en rapport på ett vetenskapligt sätt är objektiviteten i fakta som studeras mycket viktig. I denna rapport har en deskriptiv metod använts och faktaunderlaget har varit omfattande, både i kunskapsbredd och i antalet källor. Därmed har flera synvinklar kunnat studeras och värderas. I sammanhanget har det också beaktats att de risker som en anläggning av ESS karaktär medför inte nödvändigtvis tas upp i en teknisk dokumentation om anläggningens utformning.

## 12 Slutsatser

Utifrån det arbete som har utförts har vissa aspekter som har stor betydelse för anläggningens säkerhet identifierats. Vilka dessa är och vilka åtgärder som bör vidtas för att minska den risk de innebär redovisas nedan.

### Vätgas

Vätgas är en mycket brandfarlig och svårhanterlig gas som ställer höga krav på systemen där den ska hanteras. En åtgärd för att minska riskerna och underlätta hanteringen är att använda en annan gas, som inte delar vätgasens farliga egenskaper, i moderatorsystemet. Användandet av en annan gas kan kräva mer forskning på området. Med samma säkerhetsåtgärder som används vid vätgas blir explosionsrisken i närheten av målmaterial mindre med en alternativ gas. En sådan gas kan vara metan, som också är brännbar, men som till exempel har ett snävare brännbarhetsområde och högre antändningsenergi än vätgas vilket minskar risken för brand eller explosion. En substitution av vätgasen i jonkällorna är däremot sannolikt svår att genomföra, istället måste denna risk minimeras genom adekvata säkerhetssystem.

### Kvicksilveranvändning/målmaterial

Kvicksilver som grundämne och i kemiska föreningar är giftigt för levande organismer och Sverige försöker fasa ut användningen i enlighet med europeiska överenskommelser. Kvicksilver har önskvärda egenskaper som målmaterial men är inte det enda material som kan användas. Vidare forskning kan krävas på ett annat material, men kvicksilver bör inte användas. Alternativen har också sina för- och nackdelar enligt kapitel 6.4.1, som till exempel en ökning av radioaktivt kylvatten, men största vinsten med att inte använda kvicksilver är framförallt en reduktion av hälsorisker samt risken för förorening av miljön.

### Strålning till allmänheten

Vid normal drift kommer anläggningen att alstra strålning som medför att allmänheten kommer få en ökad strålningsdos. De strålningsberäkningar som gjorts visar på att anläggningen klarar de strålningsgränser som finns idag. Med tanke på de framtida miljömål som är uppsatta är det sannolikt att dessa gränser sänks ytterligare. Med nuvarande utformning kommer ESS inte att klara dessa framtida miljömål.

### Placering/utbredning

Den utredning som SWECO genomförde förordade fyra olika placeringsalternativ. Samtliga ligger strax utanför Lund. De krav på areal som förekommer i den tekniska dokumentationen respektive SWECO:s utredning skiljer sig åt. Inga riskavstånd finns heller beräknade för olika olyckstyper. Med hänsyn till framtida exploatering av kringliggande områden är det därför av vikt att nödvändiga riskavstånd är framtagna innan beslut fattas om den slutgiltiga placeringen av anläggningen.

### **Kommunen**

Eftersom planeringen av anläggningen inte kommit så långt har räddningstjänsten ännu inte arbetat särskilt mycket med frågan. Om anläggningen ska placeras i Lund är det viktigt att räddningstjänsten är med från början för att kunna planera för sitt agerande vid en eventuell olycka; detta innefattar bland annat behovet av resurser, upprättandet av insatsplaner och övningar. De ska även kunna utföra tillsyn av det säkerhetsarbete som utförs vid anläggningen. Även andra kommunala förvaltningar ska ta hänsyn till säkerhetsaspekter vid arbetet inom deras respektive område.

### **Riskanalyser**

Osäkerheterna kring den exakta utformningen av anläggningen och dess placering gör att det till viss del är svårt att genomföra kompletta riskanalyser. Risker med en placering i Lund måste ändå utredas i största möjliga mån innan ett definitivt beslut om placering tas. Arbetet med detta kommer att bli omfattande på grund av anläggningens komplexitet och unika funktion. Det kommer även att kräva en stor variation i kompetenser och ett väl fungerande samarbete mellan inblandade parter. De olyckstyper som diskuteras i kapitel 10 ska finnas med i en riskanalys men är inte de enda som ska beaktas. Om ett annat målmaterial än kvicksilver ska användas måste även detta undersökas i en riskanalys. I den tekniska dokumentationen finns redovisat den riskanalys som gjorts, denna anses dock inte heltäckande eftersom den är fokuserad på strålningsriskerna och dessutom inte är anpassad till den plats där anläggningen så småningom kommer att placeras. Det anges dessutom klart och tydligt att ett behov av fortsatta riskanalyser finns. Utgångspunkten för riskanalyserna ska vara att så tidigt som möjligt kunna förebygga de risker som anläggningen innebär, i enlighet med inherent safety-principen.

### *12.1 Förslag till åtgärder*

- Använd alternativa material med mindre farliga egenskaper istället för vätgas och kvicksilver. Med detta menas ett moderatorämne som är mindre brandfarligt och explosivt samt ett målmaterial som är mindre giftigt och leder till mindre radioaktivitet.
- De strålningsgränsvärden som ska följas är de som regeringens miljömål har satt upp inför 2010, det vill säga 100 gånger lägre än de som använts vid projekteringen. Detta kräver mycket kraftigare strålningsskydd i form av större skyddsavstånd eller tjockare barriärer av betong, stål eller jord.
- Ytbehovet för anläggningen är större än det som beräknats vid en placering i Lund. Samtidigt diskuteras ytterligare bebyggelse i området i framtiden. Detta gör att väl underbyggda riskavstånd måste arbetas fram.

- Alla kommunens berörda instanser, såsom räddningstjänsten, stadsbyggnadskontoret och miljöförvaltningen, ska vara delaktiga i planeringsprocessen från början för att säkerställa att alla säkerhetsaspekter blir utredda.
- En eller flera omfattande riskanalyser måste genomföras för att i detalj identifiera och studera de risker som anläggningen kan innebära. Syftet med dessa är att minimera de risker som allmänheten kan utsättas för. De aspekter som ska utredas är bland annat riskavstånd, miljökonsekvenser, alternativa målmaterial, olycks-scenarier, strålningsgränsvärden och transport av farligt gods.

## 13 Referenslista

- Arbetsmiljöverket, Naturvårdsverket & Statens räddningsverk (2004). *Seveso II - Myndighetsgemensam vägledning*. Karlstad och Stockholm.
- Argonne National Laboratory (2005). *Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas*.
- Backman, J. (1998). *Rapporter och uppsatser*. Lund: Studentlitteratur
- Deimer, A. (2000). *Risikanalyser av vätgas- och vätgasfabriken vid Ringhals* (Rapport nr 5040). Lund: Lunds Tekniska Högskola, Avdelningen för Brandteknik.
- Ejvegård, R. (2003). *Vetenskaplig metod*. Lund: Studentlitteratur
- EU-direktiv 96/29/Euratom (1996). *EUR-Lex – 31996L0029 – SV*.
- ESS Project: Foundation for the next European Spallation Source* (2003).
- Grimvall, G., Jacobsson, P. & Thedéen, T. (Red:er). (1998). *Risker i tekniska system*. Stockholm: Utbildningsradions förlag.
- Groeschel, F., Corsini, G., Kirchner, T., Perret, Ch., Sigg, B., Thomsen, K. & Wagner, W. (2003). *The Megapie Target System – Concepts to Contain and Handle its Radioactive Inventory*. Paper presented at the 16<sup>th</sup> Meeting of the International Collaboration on Advanced Neutron Sources May 12-15, 2003, Düsseldorf-Nuess, Germany.
- Gårsjö, D. & Niklasson, M. (2005). *Säkerhetsaspekter med vätgas som fordonsbränsle*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, Kemiteknik.
- Hägvall, J., Jerberyd, L. & Ström, P. (2005). *Risker med kvarvarande minor i Östersjön och Västerhavet (EMA och M:31)* (FOI Memo 1220). Stockholm: FOI.
- ISIS (2003). ISIS Lecture Series. *Ion Sources for ISIS and Beyond*.
- Kemikalieinspektionen (1995). *Riskbedömning och Riskhantering inom Kemikaliekontrollen*. (Kemikalieinspektionens rapport nr 11/95) Solna: Kemikalieinspektionen.
- Kemikalieinspektionen (2004). *Kvicksilver – utredning om ett generellt nationellt förbud*. (Kemikalieinspektionens rapport nr 2/04).

- 
- Matic, A. (Red.). (2002) *Expression of interest to host the European Spallation Source in Scandinavia*.
- Nathéll, Ingrid. (2005, november, 11). Ny stadsdel planeras i Lund. *Sydsvenska Dagbladet*, s. C4.
- Naturvårdsverket (1997a). *Slutförvar av kvicksilver* (Naturvårdsverkets rapport nr 4752). Stockholm: Naturvårdsverkets förlag.
- Naturvårdsverket (1997b). *Kvicksilver i miljön-förekomst och effekter* (Naturvårdsverkets rapport nr 4767). Stockholm: Naturvårdsverkets förlag.
- NFPA (1995). *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 2<sup>nd</sup> edition*.
- Räddningsverket (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Räddningsverket.
- Räddningsverket (2004). *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om skyldigheter vid farlig verksamhet* (SRVFS 2004:8).
- Saxe, M. (2005). Vätgassamhället – ett steg mot ett hållbart energisystem? I Gyberg P., Karlsson, M. & Palm, J. (Red:er) *Drivkrafter till förändring - essäer om energisystem i utveckling*. Arbetsnotat Nr. 27, Februari 2005. Linköping: Unitryck.
- SOU 2001:58. *Kvicksilver i säkert förvar*. Stockholm: Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet.
- Stadsarkitektkontoret i Lund (1998). *Översiktsplan för Lunds kommun*.
- Stadsbyggnadskontoret i Lund (2005). *Helix Lund*, nr 1.
- Statens Strålskyddsinstitut (1998). *Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om dosgränser vid verksamhet med joniserande strålning*.
- Statens Strålskyddsinstitut (1999). *Säker strålmiljö Miljö kvalitetsmål 13* (SSI rapport 99:14). Stockholm: SSI.
- Statens Strålskyddsinstitut (2000). *Statens strålskyddsinstituts föreskrifter om verksamhet med acceleratorer och slutna strålkällor*.
- SWECO FFNS (2002). *En översiktlig studie av förutsättningarna att placera ESS till Brunnshögsområdet i Lund*.

*The ESS facility fact sheet* (2002).

The ESS Council (2002a). *The ESS Project Volume 1.*

The ESS Council (2002b). *The ESS project Volume 3 Technical Report.*

The ESS Council (2004). *The ESS project Volume 3 updated Technical Report.*

Yefimov, E., Gromov, B., Leonchuk, M., Orlov, Yu., & Pankratov, D. (1999). *Problems of molten lead-bismuth target development for accelerator-driven systems.* Paper presented at the 3<sup>rd</sup> International Conference on Accelerator Driven Transmutation Technologies and Applications June 7-11, 1999, Prague, Czech Republic.

### *Länksamling*

**Eka Chemicals (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://www.ekachemicals.se>

**ESS Scandinavia (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://www.ess-scandinavia.org>

**European Neutron Portal (Senaste besök 2006-01-09)**

[http://neutron.neutron-eu.net/n\\_documentation/n\\_reports/n\\_ess\\_reports\\_and\\_more](http://neutron.neutron-eu.net/n_documentation/n_reports/n_ess_reports_and_more)

**ISIS (Senaste besök 2005-11-28)**

<http://www.isis.rl.ac.uk>

**Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) (Senaste besök 2006-01-13)**

<http://jkj.tokai.jaeri.go.jp/index-e.html>

**Nationalencyklopedin (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://www.ne.se>

**Miljöportalen (Senaste besök 2006-01-13)**

<http://www.miljoportalen.se>

**Ringhalsgruppen (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://www.ringhals.se>

**Spallation Neutron Source (Senaste besök 2005-12-05)**

<http://www.sns.gov/>



**Statens Strålskyddsinstitut (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://www.ssi.se>

**Swiss Spallation Neutron Source SINQ (Senaste besök 2006-01-12)**

<http://sinq.web.psi.ch/>

**Sydsvenska Dagbladet (Senaste besök 2006-01-09)**

<http://sydsvenskan.se>